



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO: Diseño e Implementación de un TestBed para una SmartCity.

AUTORES: DÍAZ MENDOZA, MARLON; FIGUERAS ROVIRA, ROGER;
MEDRANO ESPELTA, MARC; PADIAL IZQUIERDO, CARLOS.

FECHA: Septiembre, 2018.

APELLIDOS: DÍAZ MENDOZA

NOMBRE: MARLON

TITULACIÓN: INGENIERÍA MECÁNICA

PLAN: GRADO

DIRECTOR: SERGI SÁNCHEZ

DEPARTAMENTO: ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS

APELLIDOS: FIGUERAS ROVIRA

NOMBRE: ROGER

TITULACIÓN: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PLAN: GRADO

DIRECTOR: XAVI MASIP

DEPARTAMENTO: ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS

APELLIDOS: MEDRANO ESPELTA

NOMBRE: MARC

TITULACIÓN: INGENIERÍA MECÁNICA

PLAN: GRADO

DIRECTOR: XAVI MASIP

DEPARTAMENTO: ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS

APELLIDOS: PADIAL IZQUIERDO

NOMBRE: CARLOS

TITULACIÓN: INGENIERÍA MECÁNICA

PLAN: GRADO

DIRECTOR: SERGI SÁNCHEZ

DEPARTAMENTO: ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS

RESUMEN

Para comprender bien el proyecto es necesario introducir el concepto de TestBed. Se traduce al castellano como banco de pruebas, la prioridad es implementar un entorno de trabajo en el cual los investigadores puedan testear sus soluciones teóricas a problemas de la realidad y obtener resultados de una manera empírica, con el objetivo final de asegurar la seguridad de sus soluciones y poder implementarlas.

El grupo de investigación CRAAX (nuestro cliente) se encuentra actualmente trabajando en un proyecto europeo llamado mf2c (management Fog to Cloud), el cual consiste en desarrollar soluciones informáticas para una SmartCity. Este proyecto consiste en el diseño, fabricación y primeras pruebas de un TestBed de una SmartCity, que tiene la finalidad de testear las primeras fases del mf2c.

En este documento se encuentra todo el proceso llevado a cabo para la implementación de este TestBed mediante el uso del Design Thinking y metodologías ágiles. Estas metodologías se basarán en generar ideas innovadoras y entender y dar solución a las necesidades reales de los usuarios en periodos de tiempo cortos, en nuestro caso, 6 meses.

La implementación del TestBed ha sido realizada por los miembros de este proyecto y se encuentra ubicado en el laboratorio de la UPC (Universidad Politécnica de Cataluña) en la segunda planta del edificio Neàpolis en Vilanova i la Geltrú. El TestBed tiene una superficie de 15 metros cuadrados y consiste en una maqueta de 5 calles, 3 verticales y 2 horizontales, con un puente levadizo sobre la calle central. Dispone de semáforos, farolas, coches y edificios. Todos estos elementos están interconectados y son capaces de generar un cambio de estado. Además, se utiliza tecnología RFID para poder conocer la ubicación de los coches en todo momento.

Se ha comprobado el funcionamiento de cada elemento del TestBed y de todo el conjunto mediante una DEMO (demostración física) que consiste en el avance de uno de los coches por las pistas del TestBed interactuando con los demás elementos.

La implementación de todos los elementos planteados en este proyecto ha sido exitosa y el producto final satisface al cliente. Creemos que las claves de este proyecto fueron realizar reuniones cada 2 semanas con el cliente y el trabajo progresivo cada semana. El TestBed puede seguir creciendo y lo hemos dejado preparado para futuras implementaciones.

Palabras clave (máximo 10):

TestBed	SmartCity	mf2c	Design Thinking
RFID			

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

Marlon Díaz Mendoza

Se ha enfocado principalmente en el diseño del semáforo, de las aceras, los contenedores, en la comunicación con el FrontEnd, en la implementación de la tecnología RFID en los coches y en la programación de Arduinos y Raspberries.

Marlon ha sido el responsable del grupo y piloto de Kanban del equipo. Se ha encargado de asegurar que se cumplía la metodología en el grupo durante la duración de todo el proyecto y de que todos los miembros tuviesen la oportunidad de trabajar y se tomasen las decisiones en equipo.

Ha participado de manera activa en el proceso de producción, tanto en la impresión 3D como en el uso de la cortadora láser.

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

Roger Figueras Rovira

Roger ha sido el responsable de la electrónica del proyecto ya que cursa Ingeniería Electrónica y los otros tres miembros son mecánicos.

Se ha encargado de la fabricación, programación, cableado y diseño del semáforo, de la placa PCB y la soldadura de los componentes. También ha colaborado con la distribución de los Arduino con las Raspberry Pi 3 en todo el TestBed. En el apartado de farolas ha hecho todo el cableado, la programación y la mejora de las farolas que había anteriormente. En el puente ha hecho toda la parte eléctrica (motores y servos).

Ha realizado toda la instalación eléctrica del TestBed teniendo en cuenta un gran nombre de casos. Ha valorado el número de Tags necesarios para hacer el mínimo funcionamiento. También ha intervenido en varios apartados de la memoria.

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

Marc Medrano Espelta

Ha participado activamente en el proceso de fabricación e implementación de todos los elementos, en la colocación e implementación de todo el sistema RFID, en la elaboración del cableado general del TestBed así como el de las farolas y semáforos; también ha aportado ideas de diseño en la mayoría de áreas del proyecto; estas se explican a continuación.

Semáforos: ha contribuido a decidir la ubicación de los semáforos con los diferentes casos de sentidos de circulación del TestBed. También realizó los diferentes presupuestos para decidir si la impresión en 3D se realizaba en la UPC o en la empresa privada.

Pistas (calles del TestBed): ha contribuido en diferentes ideas para el diseño de las pistas y sus soportes.

Sistema de ubicación: su principal contribución técnica ha sido la de aportar ideas sobre la forma de colocar los lectores RFID bajo las pistas.

Aceras: ha tenido la idea de usar una guía de plástico para el “cable management” o gestión de los cables, previsto inicialmente para hacerlos pasar por debajo de las pistas, pero que finalmente se decidió colocar en las aceras.

Puente levadizo: aportó la idea que finalmente se ha implementado, para el mecanismo de poleas y contrapeso del puente. Valoró y calculó la ubicación de los finales de carrera para un correcto funcionamiento del sistema de elevación.

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

Carlos Padial Izquierdo

Carlos ha sido el responsable de la parte de fabricación que engloba el uso de la impresora 3D, la cortadora láser y de elaborar los planos necesarios para la construcción de los elementos.

Se ha encargado del diseño de los diferentes elementos del puente cumpliendo los requisitos necesarios como mecánicos de funcionamiento y de ensamblaje, para que sea fácilmente construible teniendo en cuenta que está formado por láminas de madera.

También se ha encargado del diseño de las pistas cumpliendo los requisitos para que fueran modulares y sea posible cambiar las piezas en caso necesario fácilmente y para que soporten el peso de una persona

En el apartado RFID, se encargó de investigar y escoger el sistema que se ha implementado en el TestBed.

ÍNDICE

ÍNDICE	8
SUMARIO DE FIGURAS	11
GLOSARIO DE SIGNOS, SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y TÉRMINOS	14
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN, ANTECEDENTES	10
MOTIVACIÓN	10
METODOLOGÍA	10
ESTRUCTURA	11
1. ESTADO DEL ARTE	11
2. TESTBED	11
3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL TESTBED	11
4. PROCESO DE PRODUCCIÓN	11
5. TESTS DEL CONJUNTO DEL TESTBED	12
6. TEST DEL CONJUNTO. DEMO FINAL	12
7. PROPUESTAS DE FUTURO	12
8. COSTE DEL PROYECTO	12
ANEXO A: PLANOS	12
ANEXO B: CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN	12
ANEXO C: GESTIÓN DE PROYECTO	12
1. SMART CITIES Y ESTADO DEL ARTE	13
1.1 SMART CITIES	13
1.2 ESTADO DEL ARTE	13
1.2.1 MAQUETA AYUNTAMIENTO CIUDAD BARCELONA	13
1.2.2 PROYECTO UNIVERSIDAD ALICANTE “SMART UNIVERSITY”	14
1.2.3 SMARTCITY TESTBED NYUAD	14
1.2.4 CONTROL DE TRÁFICO CON WALABOT	15
1.2.5 BRISTOL IS OPEN (BIO)	16
1.2.6 SMART SANTANDER TESTBED	16
1.3 RESUMEN DE IDEAS ESCOGIDAS	17
1.4 ENTORNO DE TRABAJO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN CRAAX	17
2. ARQUITECTURA DEL TESTBED	19
2.1 MF2C E IMPORTANCIA DEL TESTBED	19
2.2 OBJETIVOS	20
2.3 ESCENARIO. ELEMENTOS. FUNCIONAMIENTO	21
2.4 CAMBIO DE SENTIDO DE CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS EN LAS PISTAS	26
2.5 UBICACIÓN DE ELEMENTOS EN TESTBED	27
2.6 ESQUEMAS DE CONEXIÓN	29
2.6.1 ESQUEMA ELÉCTRICO	29
2.6.2 CONEXIONES EN PINES DE ARDUINOS	30
2.6.3 ESQUEMA DE TAGS RFID	31
2.7 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS DEL TESTBED	33
2.7.1 ALIMENTACIÓN DEL TESTBED	33
2.7.2 LEDS	33
2.7.3 CONTROLADOR DE VELOCIDAD (L298N)	34
2.7.4 MOTOR DEL MECANISMO DE ELEVACIÓN DEL PUENTE	34
3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL TESTBED	36
3.1 PISTAS	36
3.1.1 OBJETIVOS	36
3.1.2 DISEÑO E IDEA ESCOGIDA	36
3.1.3. PROTOTIPOS Y REDISEÑO	37
3.1.4 PRODUCTO FINAL	37

3.2 SISTEMA DE UBICACIÓN	40
3.2.1 OBJETIVOS	40
3.2.2 ALTERNATIVAS	40
3.2.3 RFID. TECNOLOGÍA ESCOGIDA. FUNCIONAMIENTO	41
3.2.4 PROGRAMACIÓN	43
3.3 COCHES SUNFO UNDER PICAR-S Y PICAR-V	44
3.3.1 PRODUCTO	44
3.3.2 USO	44
3.4 RASPBERRY PI 3	46
3.5 ARDUINO	46
3.6 SEMÁFOROS	47
3.6.1 OBJETIVOS DEL SEMÁFORO	47
3.6.2 DISEÑO	47
3.6.3 PROTOTIPOS Y REDISEÑO	52
3.6.4 PRODUCTO FINAL	58
3.6.5 MANUAL DE USUARIO DE CAMBIO DE POSICIÓN DE SEMÁFORO	61
3.7 ACERAS	62
3.7.1 OBJETIVOS	62
3.7.2 DISEÑO	62
3.7.3 PROTOTIPO	64
3.7.4 PRODUCTO FINAL	65
3.8 CONTENEDORES	67
3.8.1 OBJETIVOS	67
3.8.2 DISEÑO	67
3.8.3 PROTOTIPO	68
3.8.4 PRODUCTO FINAL	69
3.9 PUENTE LEVADIZO	71
3.9.1 OBJETIVOS	71
3.9.2 IDEA ESCOGIDA Y DISEÑO	71
3.9.3 PRODUCTO FINAL	80
3.10 FAROLAS	86
3.10.1 PRODUCTO PREVIO	86
3.10.2 OBJETIVOS	87
3.10.3 CAMBIOS Y PRODUCTO FINAL	87
3.11 EDIFICIOS	89
3.12 CABLES. TRANSFORMADORES. WIFI	90
4. PROCESO DE PRODUCCIÓN	91
4.1 IMPRESIÓN 3D	91
4.2 CORTADORA LÁSER Y TIPO DE MADERA USADA	92
4.3 FABRICACIÓN DE LAS PLACAS PCB	94
4.4 PINTADO, LIJADO, SOLDADURA Y MONTAJE	94
5. TESTS DEL CONJUNTO DEL TESTBED	96
5.1 TESTS DEL SISTEMA RFID	96
5.1.1 TEST DE LECTURA RFID CON ARDUINO	96
5.1.2 TEST DE CONEXIÓN ARDUINO-RASPBERRY PI DEL SISTEMA RFID	97
5.1.3 TEST DE CONEXIÓN RASPBERRY PI DEL COCHE EN MOVIMIENTO	98
5.2 TESTS DE COMUNICACIÓN UTILIZANDO RASPBERRIES Y ARDUINOS	99
5.2.1 TEST DE COMUNICACIÓN ENTRE RASPBERRIES	99
5.2.2 TEST DE CONEXIÓN RASPBERRY-FRONTEND	99
5.2.3 TEST DE CONEXIÓN RASPBERRY-ARDUINOS	101
6. TEST DEL CONJUNTO. DEMO FINAL	103
7. PROPUESTAS DE FUTURO	105
8. COSTE DEL PROYECTO	106
8.1 COSTE DE MATERIALES	106

8.2 COSTE DE TRABAJADORES	107
8.3 COSTE DE MÁQUINAS	107
8.4 COSTE TOTAL DEL PROYECTO	107
9. CONCLUSIONES.....	108
AGRADECIMIENTOS	109
BIBLIOGRAFÍA.....	110

SUMARIO DE FIGURAS

FIG. 1.1 TESTBED AYUNTAMIENTO BARCELONA	13
FIG. 1.2 TESTBED NYUAD.....	15
FIG. 1.3 TESTBED CON EL USO DE CONTROL DE WALABOT.....	15
FIG. 1.4 MAPA DE BRISTOL IS OPEN.....	16
FIG. 1.5 MONITOR DE SMART CITY SANTANDER	17
FIG. 1.6 A LA IZQUIERDA EDIFICIO NEÀPOLIS Y A LA DERECHA LABORATORIO UPC CRAAX.....	18
FIG. 2.1 ARQUITECTURA MF2C.....	19
FIG. 2.2 TESTBED CRAAX.....	22
FIG. 2.3 ELEMENTOS DEL TESTBED.....	23
FIG. 2.4 ARQUITECTURA TESTBED.....	24
FIG. 2.5 ESQUEMA DE POSICIONAMIENTO DE TAGS RFID.....	25
FIG. 2.6 FUNDAS DEBAJO DE LAS PISTAS, LA SUPERIOR VACÍA Y LA INFERIOR CON TAG	26
FIG. 2.7 CASOS DE POSIBLES SENTIDOS DE CIRCULACIÓN DE COCHES EN TESTBED.....	27
FIG. 2.8 ESQUEMA DE TODOS LOS ELEMENTOS DEL TESTBED	28
FIG. 2.9 ESQUEMA ELÉCTRICO	29
FIG. 2.10 LEYENDA DEL ESQUEMA ELÉCTRICO.....	30
FIG. 2.11 CONEXIONES EN PINES DE ARDUINOS.....	31
FIG. 2.12 ESQUEMA DE TAGS RFID.....	32
FIG. 2.13 TABLA DE TAGS RFID.....	32
FIG. 2.14 CONTROLADOR DE VELOCIDAD L298N.....	34
FIG. 2.15 MOTOR DEL MECANISMO DEL PUENTE.....	35
FIG. 3.1.1 DISEÑO DE PISTAS CON NX CON MECANISMO DE UNIÓN.....	37
FIG. 3.1.2 PRIMER PROTOTIPO DE PISTAS.....	37
FIG. 3.1.3 DISEÑO FINAL DE PISTAS RECTAS	38
FIG. 3.1.4 DISEÑO FINAL DE PISTAS ESQUINA Y PISTA POR DEBAJO DEL PUENTE.....	38
FIG. 3.1.5 VISTA DEL CONJUNTO DE PISTAS.....	39
FIG. 3.1.6 CINTA ADHESIVA EN PISTAS PARA TRAZADO DE MOVIMIENTO.....	39
FIG. 3.2.1 LECTOR RC522 Y TAGS DE ALTA FRECUENCIA (13,5 MHZ)	42
FIG. 3.2.2 ESQUEMA DE CONEXIÓN LECTOR RFID Y ARDUINO UNO.....	43
FIG. 3.3.1 COCHE PICAR-S.....	44
FIG. 3.3.2 COCHE PICAR-V	44
FIG. 3.3.3 LECTOR RFID INCORPORADO AL PICAR SUNFOUNDER	45
FIG. 3.3.4 ARDUINO Y RASPBERRY PI CONECTADOS MEDIANTE EL CABLE SERIAL.....	45
FIG. 3.4.1 RASPBERRY PI 3.....	46
FIG. 3.5.1 ARDUINO UNO	47
FIG. 3.6.1 PRIMER DISEÑO DE SEMÁFORO	48
FIG. 3.6.2 SEGUNDO DISEÑO DE SEMÁFORO.....	49
FIG. 3.6.3 TERCER DISEÑO DE SEMÁFORO.....	49
FIG. 3.6.4 DISEÑO DE MECANISMO RAÍL TRIANGULAR DE LA TAPA DE LA CABEZA DEL SEMÁFORO.....	50
FIG. 3.6.5 CABLES DUPONT	50
FIG. 3.6.6 PRIMER DISEÑO DE LA PIEZA DE CONEXIÓN ENTRE LA BASE Y EL TUBO DEL SEMÁFORO	51
FIG. 3.6.7 PRIMER DISEÑO DE LA BASE DEL SEMÁFORO	51
FIG. 3.6.8 PRIMER PROTOTIPO DEL SEMÁFORO.....	52
FIG. 3.6.9 TABLA DE PROS CONTRAS Y ACCIONES DEL PRIMER PROTOTIPO DEL SEMÁFORO.....	53
FIG. 3.6.10 PRIMER DISEÑO DE PLACA PCB MEDIANTE EL PROGRAMA ALTUM.....	53

FIG. 3.6.11 2º DISEÑO DE LA PIEZA DE ENCAJE ENTRE BASE Y TUBO UTILIZANDO CABLES DUPONT.....	54
FIG. 3.6.12 CONECTORES HJSP.....	54
FIG. 3.6.13 PRIMER DISEÑO DE LA PIEZA DE ENCAJE ENTRE BASE Y TUBO DE SEMÁFORO CONECTOR HJST	55
FIG. 3.6.14 MECANISMO DE ANCLAJE.....	55
FIG. 3.6.15 SEGUNDO PROTOTIPO DEL SEMÁFORO	56
FIG. 3.6.16 TABLA DE PROS CONTRAS Y ACCIONES DEL SEGUNDO PROTOTIPO DEL SEMÁFORO.....	56
FIG. 3.6.17 SEGUNDO DISEÑO DE LA PLACA PCB MEDIANTE ALTUM	57
FIG. 3.6.18 SEGUNDO PROTOTIPO DE PLACA PCB.....	57
FIG. 3.6.19 TABLA DE PROS CONTRAS Y ACCIONES DEL TERCER PROTOTIPO DEL SEMÁFORO	57
FIG. 3.6.20 SEMÁFORO FINAL.....	58
FIG. 3.6.21 PLANO DE LA CABEZA DEL SEMÁFORO FINAL.....	58
FIG. 3.6.22 CONECTOR JST	59
FIG. 3.6.23 DISEÑO FINAL PLACA PCB	59
FIG. 3.6.24 PLACA PCB INCORPORADA AL SEMÁFORO.....	60
FIG. 3.6.25 PASO 1 CAMBIO DEL SEMÁFORO.....	61
FIG. 3.6.26 PASO 2 CAMBIO DEL SEMÁFORO.....	61
FIG. 3.6.27 PASO 3 CAMBIO DEL SEMÁFORO.....	61
FIG. 3.6.28 PASO 4 CAMBIO DEL SEMÁFORO.....	61
FIG. 3.7.1 CANALETAS DE PLÁSTICO DE CABLES	62
FIG. 3.7.2 DISEÑO DE LAS ACERAS QUE HACEN ESQUINA EN EL TESTBED	63
FIG. 3.7.3 MECANISMO NUEVO DE ANCLAJE DEL SEMÁFORO	63
FIG. 3.7.4 DISEÑO DE LAS ACERAS RECTAS EN EL TESTBED.....	64
FIG. 3.7.5 PROTOTIPO ESQUINA INTERIOR	64
FIG. 3.7.6 PLANO DE ACERAS IMPLEMENTADAS AL TESTBED	65
FIG. 3.7.7 CABLEADO EN EL INTERIOR DE UNA ACERA.....	66
FIG. 3.7.8 UNIÓN ACERAS CON FAROLAS, SEMÁFOROS Y CONTENEDORES	66
FIG. 3.8.1 VALLA PUBLICITARIA CON PANTALLA PROGRAMABLE.....	67
FIG. 3.8.2 PRIMER DISEÑO DE CONTENEDORES DEL TESTBED	68
FIG. 3.8.3 PRIMER PROTOTIPO DEL CONTENEDOR.....	68
FIG. 3.8.4 TABLA DE PROS, CONTRAS Y ACCIONES.....	69
FIG. 3.8.5 TAPA Y PARED DEL MODELO 1 DEL CONTENEDOR EN NX, A LA IZQUIERDA Y DERECHA RESPECTIVAMENTE. INDICANDO EL MECANISMO DE GIRO.....	69
FIG. 3.8.6 ARDUINO Y RASPBERRY CONECTADOS MEDIANTE EL CABLE SERIAL.....	70
FIG. 3.8.7 MODELO 1 DEL CONTENEDOR EN NX. EN VERDE LA TAPA Y EN ROJO LA PALANCA	70
FIG. 3.8.8 MODELO 1 Y 2 DE LOS CONTENEDORES.....	70
FIG. 3.9.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN PUENTE BASCULANTE.....	71
FIG. 3.9.2 EJEMPLO DE PUENTE BASCULANTE. CHICAGO RIVER BRIDGE.....	72
FIG. 3.9.3 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN PUENTE DE MESA.....	72
FIG. 3.9.4 EJEMPLO DE PUENTE DE MESA. PUENTE DE NOTRE DAME.....	72
FIG. 3.9.5 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN PUENTE DE LEVANTE	73
FIG. 3.9.6 EJEMPLO DE PUENTE DE LEVANTE. TOWER BRIDGE DE LONDRES	73
FIG. 3.9.7 ESQUEMA DE UN HUSILLO.....	74
FIG. 3.9.8 ESQUEMA FUNCIONAMIENTO DE LA POLEA.....	75
FIG. 3.9.8 DISEÑO DE LAS TORRES DEL PUENTE.....	76
FIG. 3.9.9 DISEÑO EN X DE LAS RAMPAS DEL PUENTE.....	76
FIG. 3.9.10 DISEÑO DE LOS SOPORTES EN FORMA DE RAÍL DE LAS RAMPAS.....	77
FIG. 3.9.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN.....	77
FIG. 3.9.12 BARRERAS LATERALES DEL PUENTE.....	78
FIG. 3.9.13 DISEÑO 3D DE LA BARRERA	78
FIG. 3.9.14 DISEÑO DE LA CAJA DE LA BARRERA.....	79
FIG. 3.9.15 DISEÑO ENTERO DEL PUENTE EN 3D	79
FIG. 3.9.16 UNIÓN DE LAS PISTAS CON EL PUENTE.....	80
FIG. 3.9.17 VISTA LATERAL DE LA RAMPA.....	81
FIG. 3.9.18 RECTA A CONTINUACIÓN DE LA RAMPA	81
FIG. 3.9.19 BARRERA LEVADIZA DEL PUENTE.....	81
FIG. 3.9.20 VISTA EN DETALLE DE LA CAJA DE LA BARRERA LEVADIZA.....	82
FIG. 3.9.21 CONJUNTO RAMPA-RECTA.....	82

FIG. 3.9.22 ARCOS CENTRALES DEL PUENTE.....	82
FIG. 3.9.23 SECCIÓN CENTRAL LEVADIZA DEL PUENTE.....	83
FIG. 3.9.24 POLEA DE LA TORRE DEL MOTOR	83
FIG. 3.9.25 MOTOR CON SU ANCLAJE (PIEZA VERDE).....	84
FIG. 3.9.26 SISTEMA DE CONTRAPESO CON FINALES DE CARRERA.....	84
FIG. 3.9.27 EJE DE LA PARTE LEVADIZA.....	85
FIG. 3.9.28 PUENTE LEVADIZO DEL TESTBED	85
3.10.1 CABEZA DE FAROLA. A LA IZQUIERDA SE PUEDEN VER LOS LEDS Y EL SENSOR DE PRESENCIA Y A LA DERECHA SU RESPECTIVO CABLEADO.....	86
3.10.2 BASE DE FAROLA. A LA IZQUIERDA SE PUEDE VER EL AGUJERO PARA ENCAJAR EL TUBO Y LAS PATAS DE LA BASE, Y A LA DERECHA UN ARDUINO+SHIELD IMPLEMENTADO.....	86
3.10.3 TAPAS DE CABEZA DE FAROLA.....	88
3.10.4 FAROLA IMPLEMENTADA EN TESTBED	88
FIG. 3.11.1 EDIFICIO NEÀPOLIS.....	89
FIG. 3.11.2 ESTACIÓN DE BOMBEROS.....	90
FIG. 3.11.3 HOSPITAL.....	90
FIG. 4.1 IMPRESORA UP BOX.....	91
FIG. 4.2 CAPTURA DEL SOFTWARE UPSTUDIO.....	92
FIG. 4.3 PIEZA DE SEMÁFORO RECÉN IMPRESA CON SOPORTE INFERIOR	92
FIG. 4.4 VALORES A INTRODUCIR PARA LOS MATERIALES UTILIZADOS	93
FIG. 5.1 CAPTURA DE PANTALLA DEL MONITOR SERIE DEL SOFTWARE ARDUINO IDE CON LA LECTURA DE IDS DE LOS TAGS.....	96
FIG. 5.2 LECTURA INCORRECTA DE TAG RFID EN TERMINAL DE RASPBERRY.....	97
FIG. 5.3 LECTURA CORRECTA DE IDS EN EL TERMINAL DE LA RASPBERRY + CAPTURA DEL CÓDIGO SEÑALANDO EL SALTO DE LÍNEA.....	98
FIG. 5.4 TEST DE LECTURA DE TAGS CON COCHE EN MOVIMIENTO.	98
FIG. 5.5 COMUNICACIÓN SERVIDOR-CLIENTE ENTRE RASPBERRIES.....	99
FIG. 5.6 RECIBO DE TAGS.....	100
FIG. 5.7 RECIBO DE CONEXIÓN DE AGENTES	100
FIG. 5.8 INTERFACE DEL FRONTEND.....	101
FIG. 5.9 TEST DE CONEXIÓN RASPBERRY – 3 ARDUINOS POR PUERTO SERIE + CAPTURA DEL CÓDIGO DONDE SE ENVÍA EL COMANDO.....	102
FIG. 6.1 SENTIDO DE CIRCULACIÓN EN LA DEMO.....	103
FIG. 6.2 RECORRIDO DEMO FINAL.....	104
FIG. 8.1 TABLA DE COSTES DE MATERIALES.....	106

GLOSARIO DE SIGNOS, SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y TÉRMINOS

- **Arduino:** es una plataforma de hardware y software de código abierto para realizar prototipos electrónicos, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales
- **Cloud:** se traduce en castellano como “Nube”. En informática se refiere a una red de almacenamiento de datos fuera de nuestros dispositivos.
- **CRAAX:** Es nuestro cliente. Su acrónimo proviene del catalán de Laboratorio de Arquitecturas de Redes Avanzadas. Es un grupo de investigación multidisciplinario formado por profesores del Departamento de Arquitectura de computadores de la UPC y estudiantes PhD con el objetivo de desarrollar investigaciones de alta calidad, entrenar estudiantes y “technology transfer” (se refiere al proceso de intercambiar conocimientos científicos de una organización a otra para su desarrollo y comercialización).
- **Fog:** traducido literalmente del castellano como “niebla”. Es una capa de comunicación intermedia entre los dispositivos IoT y el Cloud.
- **FrontEnd:** es una interfaz que le permite al usuario monitorizar datos e interactuar con el sistema, en nuestro proyecto gracias a esto se podrá visualizar el TestBed con sus elementos e incluso se podrían añadir más elementos que no estarían físicamente, pero si digitalmente.
- **I2C:** bus de comunicación Inter-Integrated Circuit incorporado en dispositivos como Arduino y Raspberry Pi.
- **IoT:** Internet de las cosas (en inglés, Internet of Things) es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos con Internet.
- **L298N:** Este módulo permite controlar dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar de hasta 2 amperios.
- **LED:** diodo emisor de luz. Es una fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales.
- **mF2C:** management Fog to Cloud. Proyecto europeo en el cual se encuentra actualmente trabajando el grupo de investigación CRAAX.
- **PCB:** Placa de Circuito Impreso (del inglés, Printed Circuit Board) es una superficie que cuenta con pistas conductoras por las cuales fluye una corriente eléctrica y que al mismo tiempo conecta diferentes componentes electrónicos en base a un diseño previo.
- **Poka-yoke:** es una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un sistema. Por ejemplo, el conector de un USB es un poka-yoke, puesto que no permite conectarlo al revés.
- **PVC:** el policloruro de vinilo es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil.
- **PWM:** La modulación por ancho o de pulso (o en inglés pulse width modulation

PWM) es un tipo de señal de voltaje utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Este tipo de señales son muy utilizadas en circuitos digitales que necesitan emular una señal analógica.

- **Raspberry Pi:** es una placa computadora de bajo coste, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, del orden de una tarjeta de crédito.
- **RFID:** identificación por radiofrecuencia (del inglés Radio Frequency IDentification) es una tecnología que permite transmitir el identificador de una etiqueta mediante ondas de radio.
- **SG90:** servomotor pequeño y liviano con una gran potencia de salida. Este servo puede girar aproximadamente 180 grados (90 en cada dirección), y funciona igual que los tipos estándar, pero de manera reducida. Se puede usar cualquier código o hardware para controlarlo.
- **SPI:** bus de comunicación (del inglés Serial Peripheral Interface) incorporado en elementos como los lectores RFID RC522.
- **TAG:** es un elemento que es capaz de transmitir una clave única a través de ondas de radio.
- **TestBed:** banco de pruebas donde testear soluciones teóricas.
- **UART:** bus de comunicación Universal Asynchronous Receiver-Transmitter incorporado en elementos de la Raspberry Pi.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN, ANTECEDENTES

En este proyecto el objetivo principal es realizar el diseño e implementación de un TestBed ubicado en el edificio Neàpolis. Para esto nos proponemos fabricar e implementar diferentes elementos programables y realizar sus primeras pruebas.

Los investigadores tienen como objetivo la programación de soluciones ante diferentes situaciones simuladas que pudiesen ocurrir en una ciudad real y necesitan un TestBed físico para probarlas antes de poder aplicarlo a una Smart City real.

Como antecedentes, el grupo de investigación CRAAX se encuentra trabajando actualmente en un proyecto europeo llamado mf2c, el cual está en sus primeras fases de desarrollo y el TestBed tiene que cumplir con una arquitectura similar a este proyecto.

MOTIVACIÓN

La razón principal de realizar este proyecto es la de materializar y fabricar nuestros propios diseños, ya que es la razón por la cual decidimos estudiar ingeniería; y este proyecto nos dará la oportunidad de introducirnos a este mundo.

Queremos elaborar un producto que tenga una utilidad importante el día de hoy y mañana. La idea de elaborar un TestBed para hacer pruebas, extraer conclusiones de estas y luego expandirlas a la realidad en una Smart City tiene mucho valor para el futuro de la sociedad.

Además de trabajar en un equipo multidisciplinar empleando metodologías ágiles, donde todos los miembros del equipo tienen la oportunidad de compartir sus ideas y aprender de los demás. Sin duda, es un proyecto que tampoco hubiéramos sido capaces de realizarlo individualmente en tan poco tiempo.

METODOLOGÍA

Para la realización del trabajo hemos usado varias metodologías, entre ellas *Design Thinking* una metodología que permite al diseñador empatizar con un problema, detectar necesidades y finalmente solucionarlas. [1] sobre todo en las etapas de innovación y empatización con el cliente. En las fases de prototipado, testeo y rediseño hemos seguido una metodología convencional.

Por otro lado, y con el objetivo de conseguir un funcionamiento óptimo del grupo de trabajo, hemos usado una metodología ágil conocida como *Scrum* con la ayuda de la herramienta *Trello*. Hemos realizado reuniones semanales con el objetivo de organizar el trabajo a realizar en cada sprint. Con el cliente nos hemos reunido una vez cada dos semanas en las fases iniciales del proyecto y semanalmente en las fases finales para consultas más específicas con el objetivo de implementar el proyecto final en el edificio Neàpolis.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

ESTRUCTURA

Para explicar la progresión del trabajo y el diseño e implementación de los diferentes elementos del TestBed, hemos decidido dividir la memoria en los siguientes apartados:

1. ESTADO DEL ARTE

En el primer apartado de la memoria se pretende detallar el punto de partida global de nuestro proyecto; empezando por definir una Smart City y un estudio de TestBeds previamente existentes con el objetivo de realizar un resumen para tomar ideas y realizar un producto más funcional, visual e intuitivo que el resto. Por otra parte, se definirá el punto de partida de nuestro proyecto explicando el entorno de trabajo del Grupo de Investigación CRAAX detallando los elementos previos de los que dispone.

2. TESTBED

En este apartado introducimos brevemente el proyecto mf2c en el que se encuentra trabajando actualmente el grupo de investigación CRAAX; así como la importancia de nuestro TestBed para el avance de este proyecto. Luego definimos los objetivos globales del TestBed, el producto final y se definen los diferentes elementos que va a contener y explicando la razón de ser de cada elemento con sus características iniciales y definiendo sus grados de libertad diferenciándolos entre activos y pasivos en una tabla. Finalmente, se concreta detalladamente, con ayuda de mapas y esquemas, el funcionamiento y posicionamiento de cada uno de los elementos en el TestBed.

3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL TESTBED

En este apartado de la memoria se expone el proceso de diseño, prototipado y producción final de los diferentes elementos del TestBed. Empezamos definiendo una lista de objetivos que ha sido producto de una fase de empatía con el cliente a través de reuniones semanales. En segundo lugar, exponemos las ideas o soluciones pensadas por el grupo, justificando la razón de su elección, para después pasar al prototipado, donde se materializan las ideas antes escogidas y se testean y enseñan al cliente. Si el producto no es de agrado del cliente, se repite el ciclo anteriormente explicado. Para terminar, justificamos cual es el producto finalmente implementado.

4. PROCESO DE PRODUCCIÓN

En este apartado hacemos un sumario de las diferentes herramientas -y sus respectivos métodos de uso- que hemos necesitado para fabricar físicamente los diferentes elementos del TestBed entrando en detalle en cada una realizando su respectiva explicación técnica. Este apartado servirá también para que los siguientes equipos conozcan y tengan en cuenta aspectos de producción que son necesarios en la implementación del TestBed.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

5. TESTS DEL CONJUNTO DEL TESTBED

Una vez realizada la implementación de cada uno de los elementos del TestBed, explicamos las diferentes pruebas que se han llevado a cabo para la verificación del correcto funcionamiento de los elementos individuales, definiendo sus objetivos, su montaje y conclusiones.

6. TEST DEL CONJUNTO. DEMO FINAL

En este apartado se realiza una demostración global del TestBed con un guion previamente preparado de las situaciones que se darán en dicha demostración, este guion está apoyado por esquemas para poder seguir el recorrido y las fases de la demostración.

7. PROPUESTAS DE FUTURO

En este apartado de la memoria explicamos hasta dónde hemos llegado en la implementación del TestBed y hacemos recomendaciones para futuros trabajos relacionados con nuestro proyecto que se vayan a realizar en el entorno del Grupo de Investigación CRAAX de la UPC.

8. COSTE DEL PROYECTO

Finalmente nos proponemos realizar un presupuesto aproximado para ser conscientes nosotros mismos de lo que costaría un proyecto así en la vida real, para proporcionar información detallada de costes a nuestro cliente y para ayudar a posibles empresas a decidir si quieren realizar un proyecto de estas características.

ANEXO A: PLANOS

En este anexo se adjuntan los planos del conjunto del TestBed en el primer subapartado y separados en diferentes subapartados, los diversos planos de todos los elementos diseñados por nosotros, así como puente, semáforos, pistas, aceras y cajas. Estos planos son necesarios para comprender la geometría de los elementos.

ANEXO B: CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN

En el segundo anexo se adjuntarán separados en subapartados, capturas de todos los códigos informáticos utilizados para cada elemento, así como una breve explicación de cada uno.

ANEXO C: GESTIÓN DE PROYECTO

Este anexo tiene como objetivo describir las diferentes metodologías empleadas para gestionar el grupo de trabajo y enfocar el desarrollo del proyecto.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

1. SMART CITIES Y ESTADO DEL ARTE

1.1 SMART CITIES

En nuestro proyecto el TestBed representa una Smart City con diversos elementos por ello es importante conocer este término.

Una Smart City es una ciudad dotada de mecanismos que utilizan el potencial de la tecnología y la innovación, junto al resto de recursos para hacer de ellos un uso más eficaz, promover un desarrollo sostenible y, en definitiva, mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos.

El internet de las cosas (IoT), el BigData, aplicaciones móviles, industria 4.0... son ejemplos de herramientas que ayudan a mejorar la eficiencia de las ciudades, si sabemos utilizarlo de manera inteligente. En este sentido, una ciudad puede gestionar la tecnología para mejorar la vida de las personas y para conseguir beneficios como:

- Contribuir a la mejora del medio ambiente
- Ahorrar costes a sus ciudadanos
- Optimizar los servicios públicos
- Mejorar la comunicación con los ciudadanos

1.2 ESTADODELARTE

1.2.1 MAQUETA AYUNTAMIENTO CIUDAD BARCELONA

El primero que vimos fue una maqueta de la ciudad de Barcelona [4] que estaba dentro de una maleta y se podía transportar perfectamente todo el proyecto (Fig. 1.1). Incluye un potenciómetro y un Arduino para poder controlar la iluminación de la maqueta. Su objetivo es poder enseñarles a los estudiantes de primaria el concepto de Smart City.

La idea de poderlo mover nos interesó, pero vimos que nuestro proyecto era demasiado grande para poderlo mover tan fácilmente. Pero nos llama la atención de tener algo físico que se pueda enseñar a cualquier persona que esté interesada en invertir en el mundo de las tecnologías del futuro.

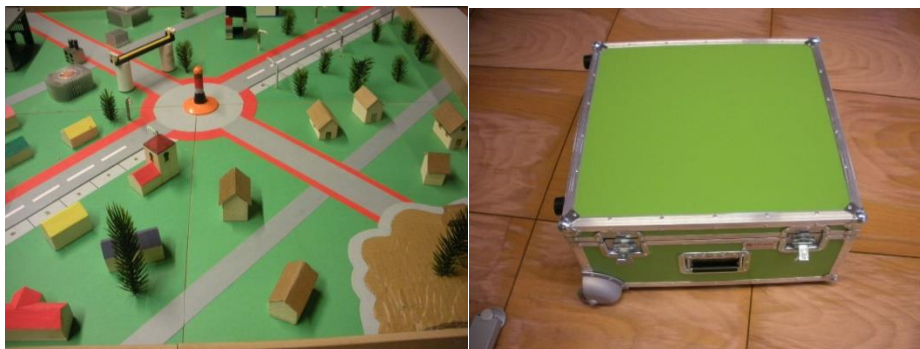


Fig. 1.1 TestBed Ayuntamiento Barcelona

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

1.2.2 PROYECTO UNIVERSIDAD ALICANTE “SMART UNIVERSITY”

En segundo lugar, vimos el proyecto de la universidad de Alicante, se podía comparar con un Smart City, ya que esta universidad cuenta con 35.000 personas que hacen uso de sus instalaciones.

La infraestructura de la universidad es comparable a la de una pequeña o inclusive mediana ciudad. Cuenta con calles, accesos, aparcamientos, edificios, luminarias, infraestructuras de comunicaciones, gestión de aguas y residuos, almacenes, talleres, laboratorios, centro de salud, instalaciones deportivas, restaurantes, jardines y parques.

Su proyecto consiste en obtener resultados a corto plazo a través de tecnologías de información (TI) utilizando como maqueta la propia universidad. Obtienen un *feedback* de los ciudadanos y proceden a implementar nuevas soluciones.

Aunque no tenemos los recursos con los que cuenta este proyecto, nos gusta mucho la idea de poder tener algo físico donde realizar pruebas y obtener conclusiones en muy poco tiempo.

1.2.3 SMARTCITY TESTBED NYUAD

Luego vimos el proyecto “Smart City TestBed NYUAD” [5]. Ellos creen que su proyecto es un tema emergente de investigación, impulsado por la necesidad de mejorar, la calidad de vida del creciente número de habitantes en las áreas urbanas. Aquí vimos la grandeza, la necesidad y la motivación de hacer un proyecto de este estilo, pero lo que más nos gustó y motivó fue su lema que dice: “no tenemos la opción de alejarnos del futuro”. Con eso entendimos que siempre estamos creciendo y evolucionando y que cuando nosotros terminemos el proyecto habrá otra gente que lo va a mejorar y nosotros lo tenemos que preparar lo máximo para el futuro.

Sabemos que implementar los Sistemas Ciber-físicos (CPS) con éxito es muy complicado y depende de incontables variables que no se pueden desarrollar únicamente mediante la teoría. Es por ello por lo que ellos han decidido construir un TestBed al igual que nosotros y el CRAAX, para ofrecerles a los investigadores un entorno a tiempo real para realizar suficientes pruebas para garantizar lo máximo posible la seguridad de las soluciones que pueden ofrecer una Smart City.

Su TestBed consiste en un laboratorio con sistemas de control (Fig. 1.2) (por ejemplo, controladores lógicos programables – PLC), dispositivos de red inteligente, sensores inteligentes / actuadores utilizados en edificios y casas inteligentes, sensores ambientales, dispositivos de red / puertas de enlace y un servidor local que actúa como una plataforma de Internet de las cosas (IoT), la cual interconecta, monitorea y controla todos los dispositivos del TestBed.

Los dispositivos se implementan en simulaciones de Hardware-In-the-Loop (HIL), es decir, simulaciones complejas a tiempo real; utilizando elementos de software y modelos matemáticos adecuados para cada aplicación.

Proponen una idea muy interesante y útil para realizar pruebas que conllevarán a conclusiones muy potentes para el futuro de las Smart City. Esta es la clase de soluciones que estamos buscando nuestro proyecto. Pensamos que utilizar elementos

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

inteligentes que interactúen entre ellos por medio de una red es la clave para nuestro TestBed.

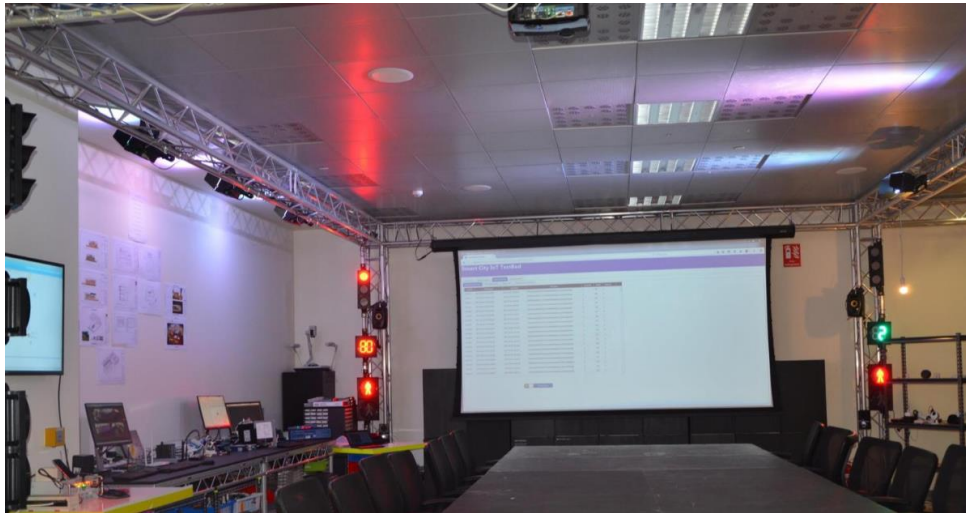


Fig. 1.2 TESTBED NYUAD

1.2.4 CONTROL DE TRÁFICO CON WALABOT

Es un pequeño proyecto individual realizado por Balázs Simon [6] el cual consiste en el control inteligente de tráfico capaz de saber lo que pasa a su alrededor gracias al uso de WALABOT (Fig. 1.3), un sensor 3D que utiliza microondas para crear imágenes. Es incluso capaz de ver a través de las paredes. Su proyecto concluyó que su sistema es capaz optimizar las señales de tráfico como para ahorrar un promedio de 20 segundos cada semáforo con respecto al sistema tradicional.

Nos llama mucho la atención de tener un sistema inteligente que actúe dependiendo de la situación en la que se encuentre. Lamentablemente no tenemos los recursos de incorporar un sensor como éste ya que sería muy costoso incorporarlo a nuestro TestBed, que será mucho más grande que una hoja de papel. Pero creemos que es clave saber lo que pasa en el TestBed en todo momento y buscaremos soluciones para hacerlo posible.



Fig. 1.3 TestBed con el uso de control de WALABOT

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

1.2.5 BRISTOL IS OPEN (BIO)

Es un proyecto muy grande que cuenta con empresas grandes como Nokia [7]. Consiste en utilizar a la ciudad de Bristol (Fig. 1.4), Inglaterra como un banco de pruebas dinámico donde incorporar diferentes soluciones tecnológicas integradas para resolver problemas como la polución del aire, la gestión del tráfico, pruebas de coches sin conductor y más.

BIO [8] [9] cuenta con la financiación de la Unión Europea, de la administración local y nacional, de entidades académicas y del sector privado. Se ha invertido muchísimo en la infraestructura de comunicación de esta ciudad, cuenta con tecnologías como 5G, elementos inteligentes como 1500 farolas, *massive MIMO* (Multiple-Input Multiple-Output), la cual es una red inalámbrica capaz de recibir y transmitir simultáneamente más de una señal en el mismo canal de radio y más.

Lo primero que nos viene a la mente es que éste es un proyecto con recursos infinitamente grandes comparado a los nuestros. Pero nos da satisfacción en saber que las Smart Cities es un mundo con una finalidad importante a corto plazo en el cual se invierte muchísimo dinero para solucionar problemas del día a día.

Y que nuestro proyecto tiene la finalidad de realizar diferentes pruebas para crear soluciones nuevas y llegar a este futuro.

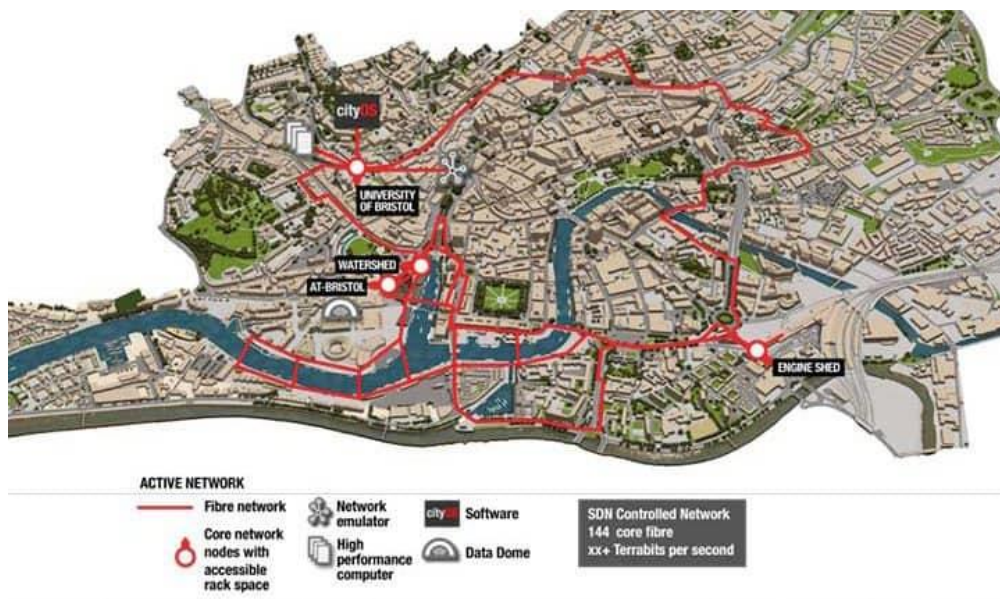


Fig. 1.4 Mapa de Bristol Is Open

1.2.6 SMART SANTANDER TESTBED

Cuenta con 4 instalaciones: Santander, Guildord, Lübeck y Belgrade Facility. Todas estas instalaciones cuentan con diferentes redes IoT y alrededor de 20.000 sensores que proporcionan una gran cantidad de datos. Los cuales se monitorean a tiempo real y ofrecen suficiente información de lo que está pasando (Fig. 1.5).

Este proyecto [10] nos señala la importancia de tener la capacidad de monitorizar todos los datos. Queremos ser capaces de tener suficiente información del TestBed a tiempo real puede jugar un papel importante en la programación de las nuevas soluciones.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

También nos damos cuenta de que existen soluciones tecnológicas para recoger cualquier dato en una Smart City y que por lo tanto es un tema de interés en la actualidad.

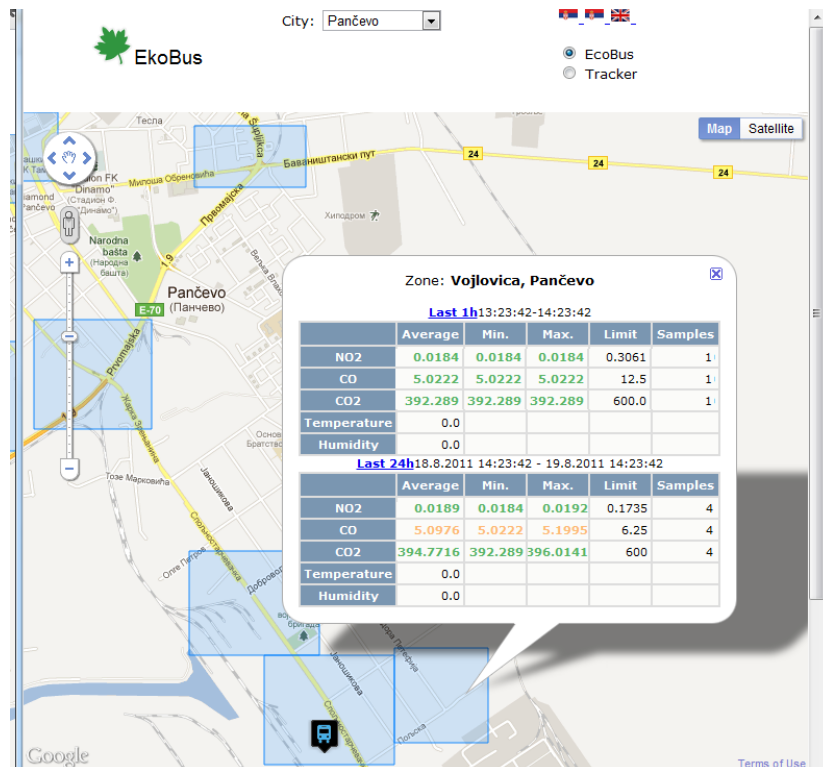


Fig. 1.5 Monitor de Smart City Santander

1.3 RESUMEN DE IDEAS ESCOGIDAS

Nosotros en concreto necesitamos un banco de pruebas que sea funcional, visual e intuitivo para que al momento de testear una solución teórica, se pueda ver fácil y rápidamente si ha funcionado o ha fallado, y si ha sido la última, poder encontrar fácilmente dónde se ha cometido un error. Siempre cuidando la estética para enseñarle a posibles colaboradores y reduciendo costes.

Las ideas que recogimos de estos proyectos para hacer esto posible son:

- Realizar un banco de pruebas tangible que cualquier usuario pueda comprender lo que se está probando.
- Todos sus elementos que son capaces de cambiar de estado deberán estar interconectados para poder programar soluciones informáticas.
- Incorporar bastantes sensores que nos den información de la situación del banco de pruebas en todo momento.

1.4 ENTORNO DE TRABAJO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN CRAAX

Es un grupo de investigación multidisciplinario formado por profesores del Departamento de Arquitectura de computadores de la UPC, investigadores del Hospital Clinic en Barcelona y estudiantes de PhD de ingenierías de computación y telecomunicación, con el objetivo de desarrollar investigaciones de alta calidad, entrenar estudiantes y *technology transfer* (proceso de transferencia de descubrimientos científicos de una organización a otra con el objetivo de desarrollarlos y

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

comercializarlos).

Es nuestro cliente y actualmente trabajan en un laboratorio perteneciente a la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) ubicado en la segunda planta del edificio Neàpolis en Vilanova i la Geltrú (Fig 1.6). Tienen un pequeño espacio vacío donde se implementará el TestBed.



Fig. 1.6 A la izquierda edificio Neàpolis y a la derecha laboratorio UPC CRAAX

El laboratorio cuenta con Raspberries Pi, Arduinos UNO y coches Picar SunFounder. Elementos que decidimos utilizar para implementar en el TestBed porque son elementos que se pueden programar y comunicar entre ellos, son dispositivos IoT de bajo coste que pueden actuar como agentes del mf2c, que se explicará con más detalle en el apartado 2.1 de este documento, y para disminuir costes.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

2. ARQUITECTURA DEL TESTBED

2.1 MF2C E IMPORTANCIA DEL TESTBED

El mf2c (Management Fog to Cloud) [2] [3] es un proyecto europeo en el que se encuentra trabajando actualmente el grupo de investigación CRAAX y que actualmente está en sus primeras fases.

Actualmente la conexión de los dispositivos de una ciudad a la red se hace a través de una nube que puede estar ubicada inclusive en otro país. Debido a esta larga distancia, el tiempo de comunicación es muy lento (estamos hablando de segundos o menos) cuando se quieren implementar soluciones a tiempo real. Mf2c pretende incorporar una capa intermedia Fog entre los elementos de la ciudad y la nube. Esta capa es propia de la ciudad o inclusive de un pequeño sector de la ciudad por lo que los tiempos de comunicación son casi inmediatos. Además, el Fog ha de tener una capacidad de computación muy potente para tener incorporado un sistema inteligente capaz de tomar decisiones y ejecutarlas en la ciudad con el fin de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Para conseguir una gran capacidad de computación mf2c propone interconectar pequeños dispositivos IoT y de usos cotidianos como móviles, portátiles, computadoras de los coches, Smart TVs, entre otros, con la finalidad de poder utilizar los procesadores de estos elementos ya que la mayoría del tiempo, estos procesadores no están en uso (Fig. 2.1). Es una idea de Smart City donde todos contribuyen y tienen beneficios.

La idea es que cada dispositivo tenga un Software instalado y que sea un agente de la ciudad, pero además que existan líderes que puedan enviar órdenes a los demás agentes y también ser capaces de comunicarse con la nube en caso de necesitar ayuda de otro líder o de buscar un dato específico. [2][3]

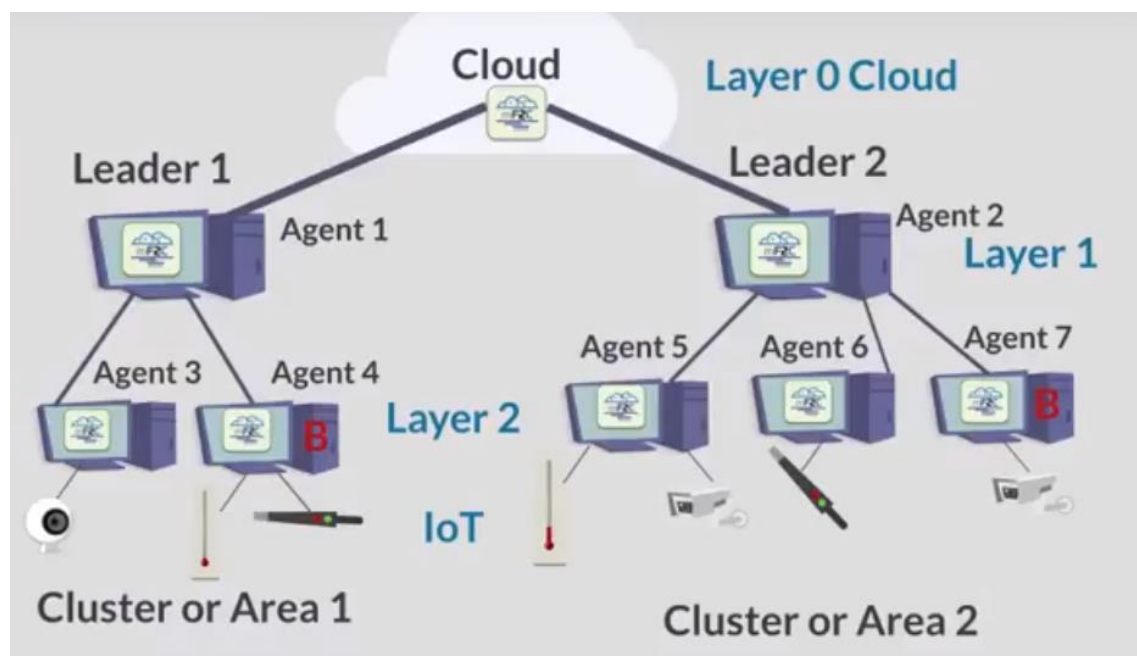


Fig. 2.1 Arquitectura mf2c

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Se puede ver que es un proyecto muy ambicioso y de alto riesgo que requiere de una fase de investigación muy importante, y por lo tanto se necesita un entorno de pruebas donde certificar la seguridad de este sistema y poder continuar a la siguiente fase hasta implementarse en una ciudad real.

Nuestro TestBed junto al laboratorio del centro de investigación CRAAX es el entorno de pruebas. Es fundamental que el TestBed pueda seguir la misma arquitectura que el proyecto mf2c y que cuente con sensores para poder interactuar entre los elementos.

2.2 OBJETIVOS

Cómo objetivo principal, al igual que todo proyecto, el producto final ha de ser de agrado del cliente, en nuestro caso, el grupo de investigación CRAAX. En este proyecto tenemos la capacidad de crear nuevas ideas, diseñarlas e implementarlas. Con el objetivo de mostrar un producto tangible a nuestro cliente, pero al final es este último quién toma la decisión final.

Para ser capaces de comprender los requisitos de nuestro cliente, nos reunimos con el grupo de investigación CRAAX cada 2 semanas, dónde le enseñamos el progreso hasta la fecha, recibimos su *feedback* y discutimos el siguiente paso de mejora.

Tomando en cuenta las ideas tomadas del Estado del Arte en el apartado 1.3, nuestras ideas y las necesidades del cliente, se han definido los objetivos principales del TestBed:

- Arquitectura compatible con mf2c

El objetivo primario del TestBed es probar las soluciones del proyecto mf2c explicadas en el apartado 2.1. Los elementos inteligentes del banco de pruebas tienen que ser dispositivos IoT, preferiblemente de bajo coste.

- Realizar un TestBed tangible

Para obtener resultados más visibles e intuitivos se ha construido una maqueta de una Smart City que a su vez es un banco de pruebas físico, con un tamaño aproximado de 15 metros cuadrados ya que contamos un espacio similar.

- Tener elementos capaces de cambiar su estado y estar interconectados, además de simbolizar un elemento de una ciudad real.

Se necesitan elementos programables cuyos cambios de estado simbolicen acciones en una ciudad y además estar interconectados para por conocer el estado de cada uno en todo momento. Se han definido semáforos, farolas, barreras del puente, coches y puente levadizo.

- Los semáforos se han de poder cambiar de posición fácilmente

Con el objetivo de poder cambiar el sentido de circulación de los coches por el TestBed para poder realizar más pruebas, se ha de implementar un sistema de cambio de posición de los semáforos que sea rápida y sencilla.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

- Buena presentación

El TestBed ha de mostrar una imagen buena y limpia ya que es un proyecto con la finalidad de llamar la atención a más personas que puedan estar interesadas en invertir en este mundo. Además de mantener interesados a los patrocinadores actuales. Para el cliente es imprescindible que se vea el menor número de cables y que los elementos electrónicos no estén a la vista.

- Sistema de ubicación de coches y pistas

Los coches son los elementos más importantes ya que interactúan con todos los demás dispositivos. Es por eso que es fundamental implementar un sistema que nos permita conocer su posición en todo momento. El sistema ha de ser económico y práctico. Y deberá tener unas pistas por las cuales circular.

- Costes

Es un proyecto que si dispone de un presupuesto en material de alrededor de 500 euros sin contar los elementos ya presentes en el laboratorio (coches, Raspberries, Arduinos y farolas). Pero las soluciones encontradas deben ser económicas debido a los 15 metros cuadrados de tamaño del TestBed. Es importante tener en cuenta que es un proyecto de implementación, los costes se han de tener cuenta desde la compra de componentes hasta su montaje.

- Enviar datos al FrontEnd

El FrontEnd es una interfaz que recibe todos los datos del TestBed a tiempo real y los captura en una pantalla para que el usuario pueda monitorizar los e interactuar con ellos. Actualmente se encuentra en desarrollo por el estudiante de ingeniería informática Adrián Roldan. Y debemos ser capaces de poder enviarle datos como ubicación de los coches, estado de los semáforos, etc.

2.3 ESCENARIO.ELEMENTOS.FUNCIONAMIENTO

El escenario tiene un tamaño de 15 metros cuadrados y tiene 5 calles, 3 verticales y 2 horizontales, y un puente levadizo que pasa por el medio como se puede observar en la Fig. 2.2 Todos sus elementos están interconectados mediante cables y WiFi y son capaces de interactuar entre ellos.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

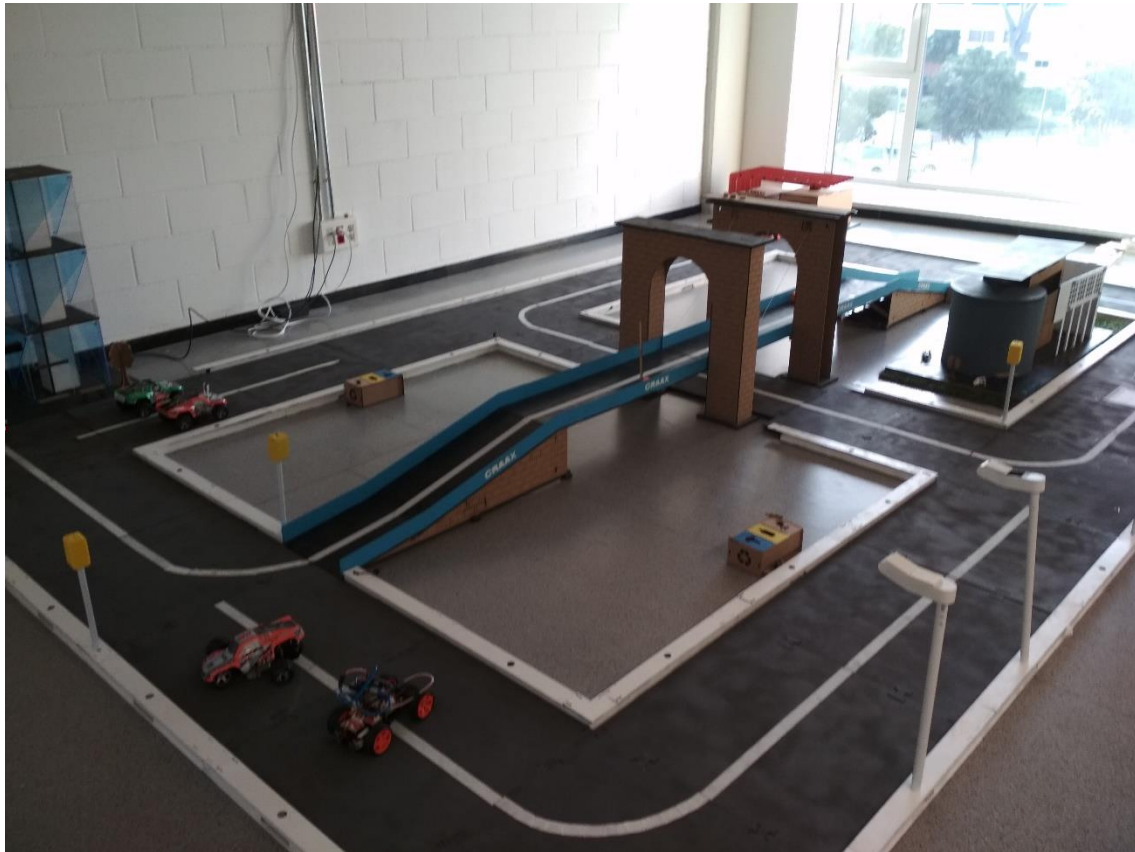


Fig. 2.2 TestBed CRAAX

A continuación, se presenta una tabla (Fig. 2.3) donde se explicará brevemente que elementos hay dentro del TestBed, para qué se usan, qué representan en una ciudad real, si poseen algún cambio de estado y cuál sería y si son activos o pasivos. Refiriéndose a activos a elementos capaces de enviar órdenes a otros elementos para realizar un cambio de estado y pasivos a elementos que están a la espera de una orden para cambiar su estado o simplemente no son capaces de cambiar de estado ni de dar órdenes.

ELEMENTO	USO	QUÉ REPRESENTA	CAMBIO DE ESTADO	ACTIVO (A) O PASIVO (P)
Pistas	Circulación de coches	Calles	NO	P
RFID	Tecnología para conocer ubicación de coches dentro del TestBed en todo momento	Sensores o GPS	SI. Lectura de TAGs.	P
Coches	Se mueve por el TestBed e interactúa con los demás elementos	Automóviles	SI. Movimiento por pistas.	A

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Arduino	Conexión y programación de todos los componentes pasivos y que tienen cambio de estado	Un elemento IoT en mf2c	NO	A
Raspberry Pi	Conexión y control de los Arduinos	Un agente en mf2c	NO	A
Semáforos	Control de tráfico mediante los colores cotidianos y una luz de emergencia	Semáforos	SI. Encendido y apagado de cada led	P
Aceras	Estructura para cableado e incorporación de farolas y semáforos	Aceras	NO	P
Contenedores	Caja para ubicar Arduinos y Raspberries	Contenedores de basura	NO	P
Puente levadizo	Subir y bajar para poder permitir o bloquear el paso de coches	Puente levadizo	SI. Arriba, abajo o en movimiento	P
Farolas	Control de iluminación de las pistas.	Farolas	SI. Apagado, brillo medio y 100%	P
Edificios	Estructuras para representar casos de emergencia con parking para coches	Estación de bomberos, hospital y Neàpolis.	SI. Abierto o cerrado.	P
Cables, transformadores y WiFi	Conexión de todos los elementos	Cables, fuente de alimentación e IoT	NO	P
PC	Conexión y control de las Raspberries Pi	Un líder en mf2c	NO	A

Fig. 2.3 Elementos del TestBed

Todos los dispositivos pasivos y que poseen algún cambio de estado como farolas, semáforo y puente se encuentran conectados mediante pines digitales y analógicos a diferentes Arduinos distribuidos por el TestBed, en total 6, y estos al mismo tiempo se conectan a través del puerto serie a 2 Raspberries ubicadas dentro del banco de pruebas. Cada coche tiene una Raspberry Pi y todas ellas se conectan entre sí mediante WiFi entre ellas y con un líder que es un ordenador del CRAAX. La Raspberry Pi del coche a su vez se comunica mediante el puerto serie a un Arduino que hemos incorporado dentro del mismo, que tiene conectado un lector RFID capaz de leer las etiquetas colocadas en las pistas. A su vez se le envía a un FrontEnd todos los datos que representan un cambio de estado para poder reflejar la situación del TestBed en una pantalla (Fig. 2.4).

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

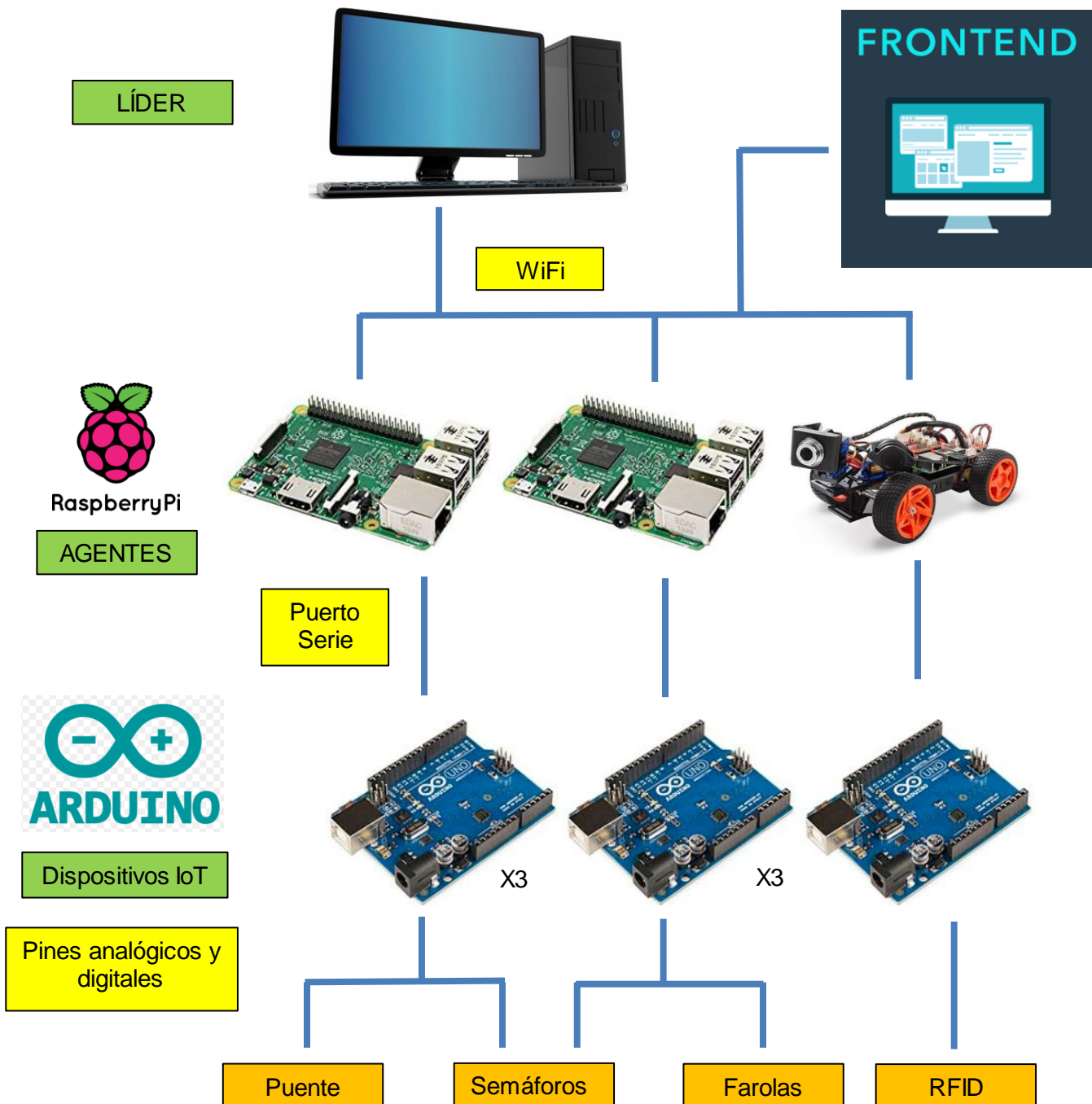


Fig. 2.4 Arquitectura TestBed

Es importante notar que el funcionamiento del TestBed presentado en este documento es para demostrar la interconexión de todos sus elementos. Pero que es adaptable para que los investigadores del CRAAX procedan a colocar su Software en los agentes y empezar a testear ya que cuenta con una arquitectura similar.

En nuestro caso, a través del líder es posible programar y ejecutar los programas necesarios para el funcionamiento de las Raspberries Pi. Luego, en las Raspberries Pi se programan las diferentes interacciones entre los elementos con el objetivo de enviar comandos a los Arduinos que estarán programados para ejecutar un cambio de estado al recibir una orden. Al mismo tiempo que se envía esta orden, también se le informa al FrontEnd del respectivo cambio de estado para que este pueda reflejar el cambio en una pantalla.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Però para hacer posible la programación de todas estas interacciones se necesitan sensores que den información sobre la ubicación de los coches, es aquí donde entra en juego la implementación del RFID, del que se profundizará más en el apartado 3.2.3. El sistema consiste en que cada coche será capaz de leer una única clave o valor numérico cada vez que pase por encima de una etiqueta o TAG que se encontrará ubicada por debajo de las pistas en la línea de circulación. Como cada coche tiene una Raspberry con una dirección I.P única, es posible reconocer cual coche lee cual TAG y así poder conocer un rango de posiciones donde puede estar ubicado cada uno.

25

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

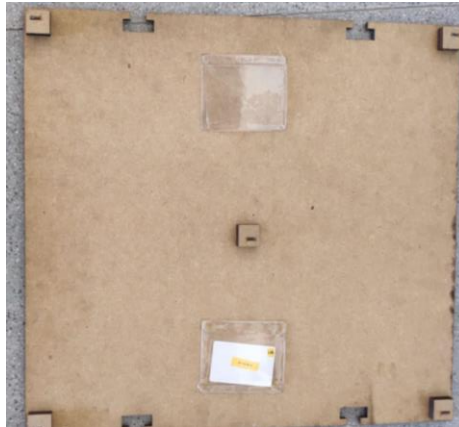
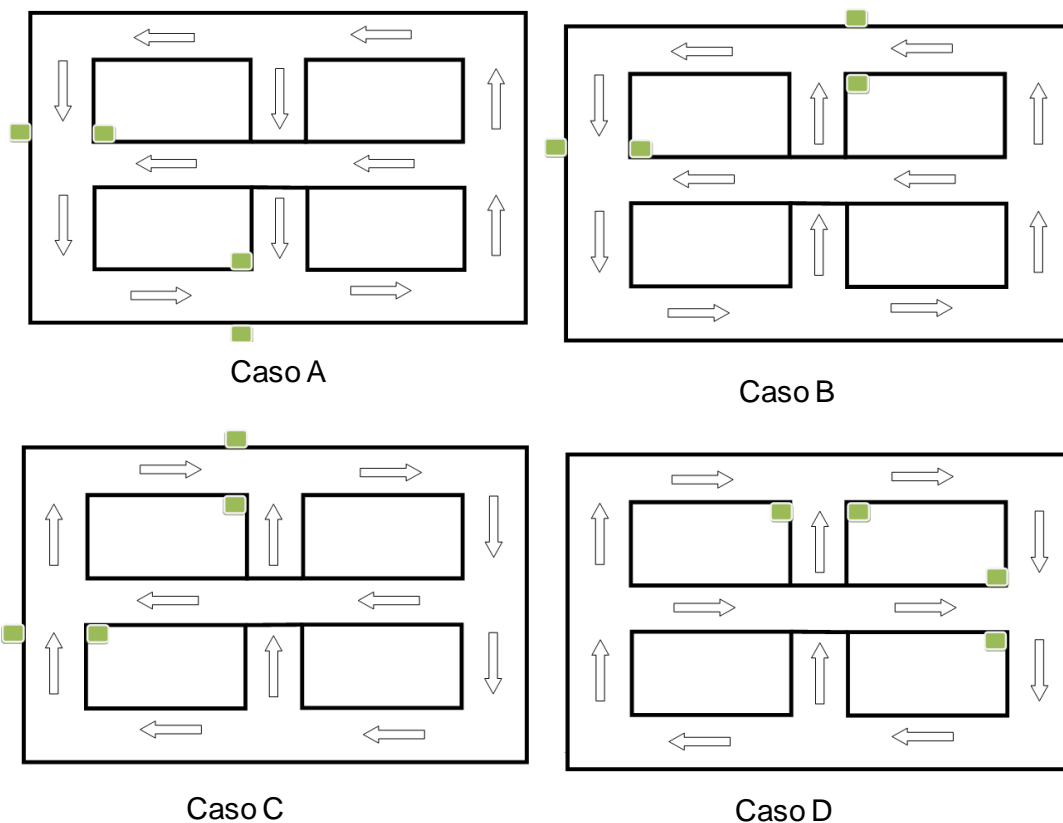


Fig. 2.6 Fundas debajo de las pistas, la superior vacía y la inferior con TAG

Las pruebas tanto de elementos individuales como del conjunto para validar el funcionamiento del banco de pruebas se encuentran en el apartado 5 de este documento.

2.4 CAMBIO DE SENTIDO DE CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS EN LAS PISTAS

El objetivo de lograr cambiar los sentidos de circulación del TestBed es potenciar el uso primario del TestBed, poder realizar más pruebas. Se han definido junto al cliente diferentes casos de circulación en el TestBed y la respectiva posición de los semáforos que hacen falta para cada uno:



Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

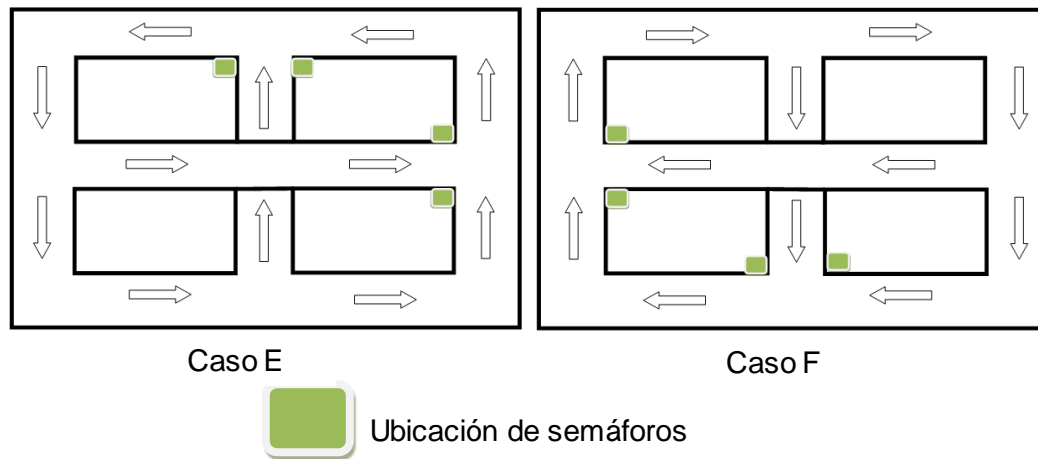


Fig. 2.7 Casos de posibles sentidos de circulación de coches en TestBed

Para ello se ha diseñado un sistema de cambio de posición de semáforo del cual se explicará su diseño en el apartado 3.7 de este documento y se elabora una pequeña guía de instrucciones de una página con ayuda de imágenes para que todos los usuarios puedan realizar el cambio en el apartado 3.6.5.

El cambio de posición de semáforo es importante porque nos permite fabricar una mínima cantidad de semáforos y poder reutilizarlos en caso de querer el sentido de circulación. Tampoco tiene sentido implementar una gran cantidad de semáforos ya que estorbarían y afectaría negativamente el aspecto intuitivo que tiene nuestro TestBed.

Las conexiones eléctricas de todos los posibles casos de circulación en el TestBed ya están implementadas por lo que los únicos cambios que se han de hacer además de la ubicación del semáforo son de Software, concretamente en la parte de programación de los agentes; ya que los Arduinos ya tienen contemplado en sus códigos los comandos necesarios para poder hacer funcionar cualquier ubicación del semáforo.

2.5 UBICACIÓN DE ELEMENTOS EN TESTBED

En el siguiente esquema se podrán observar la ubicación de los elementos del TestBed y luego su explicación:

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

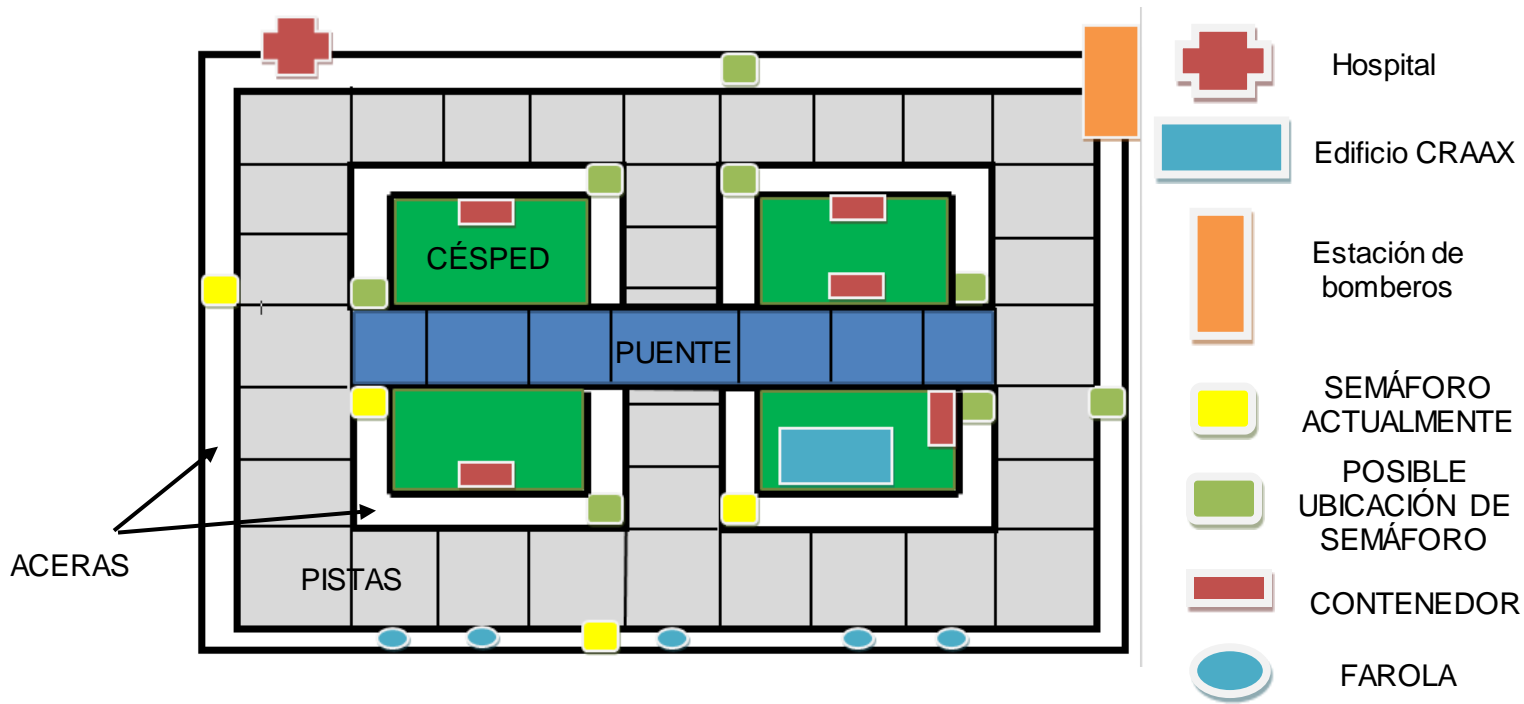


Fig. 2.8 Esquema de todos los elementos del TestBed

A comienzos del proyecto se había planteado ubicar el puente en la parte superior del TestBed pero no tenía mucho sentido ya que no podía circular nada por debajo de él. Por lo que se ha optado por situarlo en el medio del TestBed para darle una verdadera utilidad a su función de abrirse y cerrarse además de darle un aspecto más estético al TestBed.

Los edificios se han distribuido a lo largo del TestBed de modo que para que el coche llegue de un sitio de interés a otro tenga que recorrer la mayoría del TestBed. Las farolas se han ubicado en la parte inferior para poder apreciar mejor su iluminación ya que el observador del TestBed se encontrará en la parte inferior, aunque el TestBed está preparado para incorporar farolas a lo largo de todas las pistas. Y los semáforos actuales se encuentran en dicha posición debido a la demo que hemos definido en el apartado 6 para finalizar el comienzo de este proyecto, ya que se espera que el TestBed siga evolucionando.

Los contenedores están ubicados estratégicamente para guardar las Raspberries y Arduinos de tal manera que la longitud del cableado que tiene que haber entre los elementos y éstos sea el menor posible. Las aceras cubren todas las pistas del TestBed con la finalidad de esconder todo el cableado actual y el que se quiera implementar en el futuro.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

2.6 ESQUEMAS DE CONEXIÓN

2.6.1 ESQUEMA ELÉCTRICO

En este esquema Fig 2.9 se puede ver la conexión de cada elemento y por donde pasa su respectivo cable.

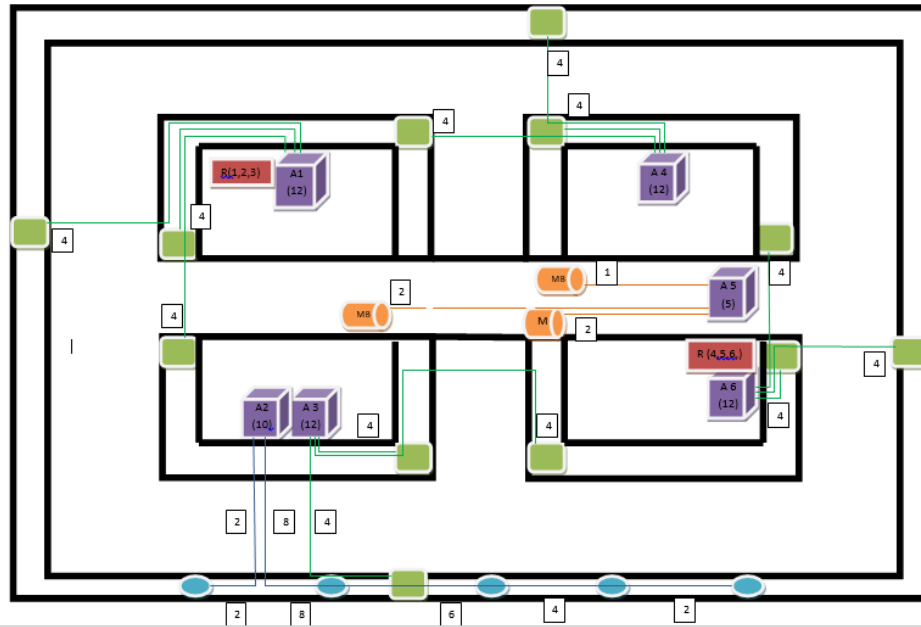


Fig. 2.9 Esquema eléctrico

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

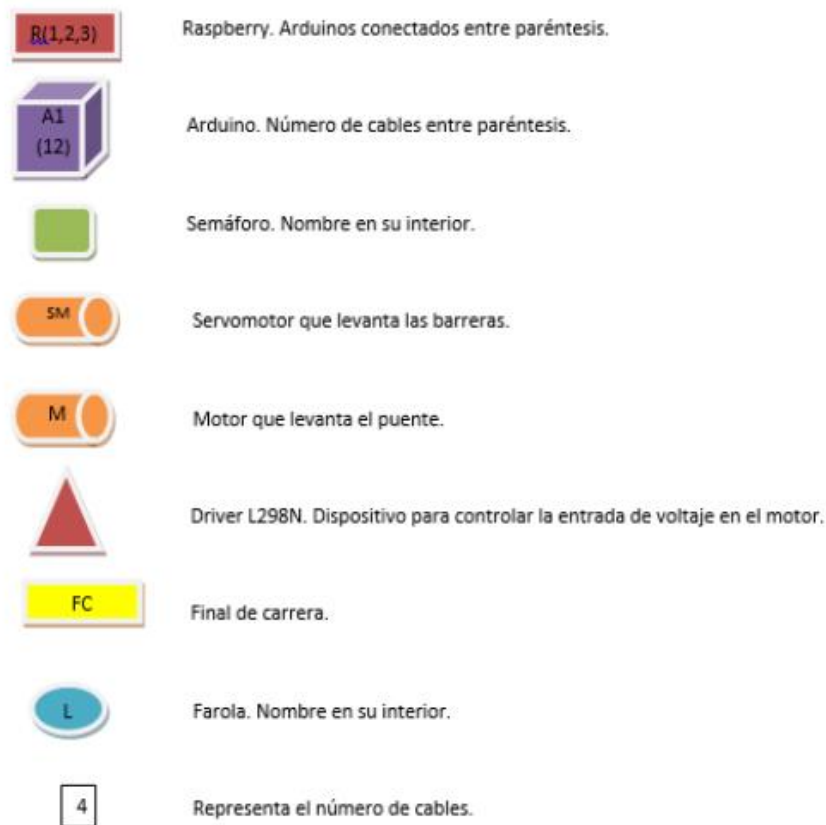


Fig. 2.10 Leyenda del esquema eléctrico

2.6.2 CONEXIONES EN PINES DE ARDUINOS

En el TestBed se encuentran 2 Raspberries las cuáles tienen conectadas tres Arduinos cada una a través de los puertos USB. Y éstos a su vez se conectan con los demás elementos (LEDs de semáforos y farolas, driver del motor y servomotores) a través de sus salidas digitales. En la siguiente tabla Fig 2.11 se podrá observar a que pin o puerto exactamente está conectado cada elemento para poder programar diferentes pruebas en un futuro: o realizar algún cambio en la conexión.

ARDUINO 1 - USB 1		ARDUINO 2 - USB 2		ARDUINO 3 - USB 3	
TRAFFICLIGHT-LED	PIN	TRAFFICLIGHT-LED	PIN	LIGHTSTREET	PIN
TW1-GREEN	2	TS1-GREEN	2	L1	2
TW1-YELLOW	3	TS1-YELLOW	3	L1	3
TW1-RED	4	TS1-RED	4	L2	4
TW1-BLUE	5	TS1-BLUE	5	L2	5
TW2-GREEN	6	TS2-GREEN	6	L3	6
TW2-YELLOW	7	TS2-YELLOW	7	L3	7
TW2-RED	8	TS2-RED	8	L4	8
TW2-BLUE	9	TS2-BLUE	9	L4	9
TW3-GREEN	10	TS3-GREEN	10	L5	10

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

TW3-YELLOW	11	TS3-YELLOW	11	L5	11
TW3-RED	12	TS3-RED	12	-	12
TW3-BLUE	13	TS3-BLUE	13	-	13

ARDUINO 4 - USB 1		ARDUINO 5 - USB 2		ARDUINO 6 - USB 3	
TRAFFICLIGHT-LED	PIN	TRAFFICLIGHT-LED	PIN	DRIVER/SERVO-PIN	PIN
TE1-GREEN	2	TN1-GREEN	2	-	2
TE1-YELLOW	3	TN1-YELLOW	3	SERVO-1	3
TE1-RED	4	TN1-RED	4	-	4
TE1-BLUE	5	TN1-BLUE	5	SERVO-2	5
TE2-GREEN	6	TN2-GREEN	6	DRIVER-ENA	6
TE2-YELLOW	7	TN2-YELLOW	7	DRIVER-IN1	7
TE2-RED	8	TN2-RED	8	DRIVER-IN2	8
TE2-BLUE	9	TN2-BLUE	9	-	9
TE3-GREEN	10	TN3-GREEN	10	-	10
TE3-YELLOW	11	TN3-YELLOW	11	FC1	11
TE3-RED	12	TN3-RED	12	FC2	12
TE3-BLUE	13	TN3-BLUE	13	-	13

Fig. 2.11 Conexiones en pines de Arduinos

2.6.3 ESQUEMA DE TAGS RFID

Para distinguir en qué posición del TestBed nos encontramos, factor clave a la hora de programar, Hemos decidido seguir el sistema de los puntos cardinales en inglés (N: North, S: South, E: East, W: West). Añadiendo B, C y UB, refiriéndose a Bridge, Center y Under-Bridge respectivamente. Además de un número para distinguir en que pista nos encontramos. Actualmente solo utilizamos un TAG por pista, por lo que el TAG tendrá el mismo nombre que la pista, en un futuro se podrá añadir una letra a nuestra nomenclatura como A o B para distinguir entre dos TAGs en la misma pista. A continuación, se presenta un esquema Fig. 2.12 para identificar cada pista y una tabla Fig. 2.13 con las claves de cada TAG en caso de que se quiera modificar la nomenclatura o algún otro cambio en la programación.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

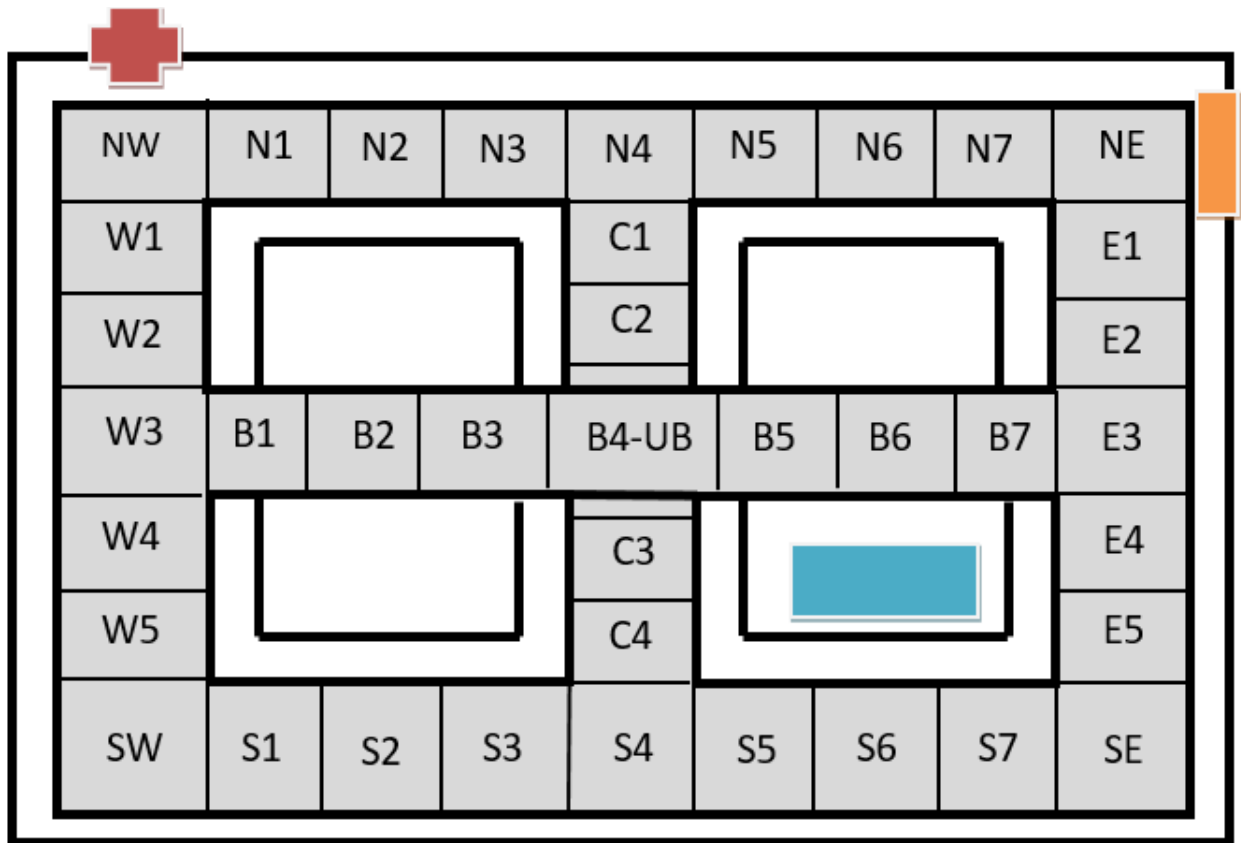


Fig. 2.12 Esquema de TAGs RFID

NW	41 205 254 41	N1	140 88 228 137
NE	252 94 249 41	N2	158 220 186 89
SE	227 134 166 137	N3	220 24 232 137
SW	47 34 231 89	N4	119 44 171 169
UB	57 156 167 137	N5	193 125 198 89
C1	143 05 104 41	N6	014 137 254 41
C2	158 224 83 32	N7	81 127 227 137
C3	158 246 166 32	S1	186 134 166 137
C4	143 101 015 41	S2	78 95 166 137
B1	243 223 166 137	S3	255 014 167 137
B2	43 180 230 89	S4	217 117 197 89
B3	206 93 226 41	S5	137 40 167 137
B4	218 125 230 89	S6	01 180 166 137
B5	95 173 230 89	S7	50 74 227 41
B6	128 03 231 89	E1	127 240 92 41
B7	250 68 255 41	E2	143 121 02 41
W1	27 06 231 89	E3	143 99 01 41
W2	01 84 254 41	E4	143 133 87 41
W3	86 013 231 89	EXTRA 1	143 76 98 41
W4	187 205 166 137	EXTRA 2	143 78 107 41

Fig. 2.13 Tabla de TAGs RFID

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

2.7 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS DEL TESTBED

2.7.1 ALIMENTACIÓN DEL TESTBED

La alimentación del TestBed viene del edificio del CRAXX (230 V). Se conecta a un transformador que lo disminuye a 12 V. Con este voltaje trabajan las Raspberry y el controlador de velocidad del motor (L298N). Las RaspBerry alimentan a los Arduinos mediante un cable USB/adaptador de Arduino, y el controlador al motor del puente dependiendo de las señales que recibe del Arduino.

La dimensión del cable se calculó mediante la Ley de Ohm y la Ley de Pouillet:

$$V=I \cdot R \qquad R=\rho \cdot \frac{L}{A}$$

Donde:

- V = Voltaje (V)
- I = Intensidad (A)
- R = Resistencia (Ω)
- ρ = Resistividad (cobre = $1'71 \cdot 10^{-8}$) ($\Omega \cdot m$)
- L = Longitud del cable (m)
- A = Área necesaria del cable (m^2)

Mediante la Ley de Ohm se puede ver la resistencia que se necesita para calcular el área del cable:

$$R=\frac{V}{I}=\frac{12}{1'25}=9'6 \ \Omega \qquad A=\frac{\rho \cdot L}{R}=\frac{1'71 \cdot 10^{-8} \cdot 8'4}{9'6}=7'125 \cdot 10^{-9} \ m^2$$

Estos $7'125 \cdot 10^{-9} m^2$ equivalen a un área de $7'125 \cdot 10^{-3} mm^2$. Se escogió el cable de $0'5 mm^2$ porque cumple las características requeridas.

2.7.2 LEDS

Las luces de los semáforos están hechas por LEDs de colores (Azul, Rojo, Amarillo, Verde). Las características de estos LEDs son las siguientes:

- Tamaño: 10 mm
- Encapsulado de color
- Alta Luminosidad, alto brillo
- Consumo: 20mA a 40mA dependiendo el color

Las luces de las farolas están hechas también por LEDs pero en este caso todos son blancos. Las características de estos LEDs son las siguientes:

- Tamaño: 5 mm

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

- Encapsulado de transparente
- Alta Luminosidad, Alto brillo
- Consumo: 20mA

Todos los LEDs son encendidos mediante el Arduino.

2.7.3 CONTROLADOR DE VELOCIDAD (L298N)

El controlador de velocidad L298N (Fig. 2.14) puede mover independientemente 2 motores, pero en este proyecto con mover solo uno era suficiente.

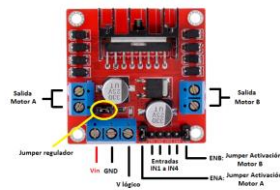


Fig. 2.14 Controlador de velocidad L298N

El controlador se alimenta a de la corriente del edificio, pasando por un transformador que la reduce a 12 V. En las salidas para motores, como bien el nombre indica, se conecta un motor. No tiene polaridad, eso significa que el positivo y el negativo se pueden intercambiar. Dependiendo del código que se le ejecute en el Arduino, puede hacer que gire horario o antihorario.

Dependiendo la velocidad con la que se quiera mover el motor, el controlador lo alimentará más o menos. Sus características principales son las siguientes:

- Excelente rendimiento anti-interferencias.
- Intensidad de trabajo: 2 Amperios, máximo 3 Amperios de pico.
- Máximo potencia: 25 Vatios.
- Maneja: 1 motor paso a paso, o dos motores de continua.
- Incluye diodos de protección y filtros por condensador.
- Alimentación placa 5V.
- Alimentación Motores: Hasta 12V.

2.7.4 MOTOR DEL MECANISMO DE ELEVACIÓN DEL PUENTE

El motor se alimenta dependiendo de la velocidad que le dé el controlador. A mayor velocidad, mayor será el voltaje. El motor (Fig 2.15) puede ser alimentado de 1'5 V a 12 V. El giro del eje del motor depende del programa del Arduino o de la forma en que estén conectados los cables, pudiendo hacer girar el motor mediante el programa o cambiando la posición de los cables. Como el motor no tiene que hacer una gran fuerza, su corriente mínima es de 6V.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 2.15 Motor del mecanismo del puente

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL TESTBED

En este apartado se explicaran cada elemento siguiendo con un orden que comienza con los objetivos o requerimientos que tiene, el diseño y la idea escogida para cumplirlos, los prototipos que se van produciendo con el avance del proyecto y el producto final.

3.1 PISTAS

Las pistas son las carreteras de nuestro TestBed, los vehículos circulan sobre ellas y nuestro sistema de ubicación va colocado debajo.

3.1.1 OBJETIVOS

Los objetivos principales a la hora de diseñar y fabricar las pistas son:

- Que los coches pizar-S puedan circular sobre las pistas siguiendo una línea de contraste sin problemas.
- Que se puedan montar y desmontar con facilidad para cambiar de posición los TAGs para el sistema de ubicación RFID.
- Que representen las calles de una ciudad.

3.1.2 DISEÑO E IDEA ESCOGIDA

Para el diseño de las pistas, tuvimos que pensar la mejor manera de cumplir los objetivos y, a su misma vez, que el diseño final fuese acorde a las medidas de las tablas compradas; cada tabla mide 1200 x 600mm. Aunque de momento únicamente pasará un coche por las carreteras, la idea es que en un futuro el TestBed sea de dos sentidos, por lo que decidimos que cada pista tenga un ancho de aproximadamente 600mm, longitud suficiente para permitir el giro de dos coches en una misma curva.

Hay que señalar que, a la hora de cortar, debido a las dimensiones de la cortadora láser que está en el laboratorio de la universidad, no tiene la precisión suficiente como para aprovechar todos los centímetros de la madera; es por esta razón que el ancho finalmente mide 590mm para aprovechar al máximo cada plancha de madera y poder fabricar 2 pistas por cada tabla.

Nos decidimos por un sistema de pistas conectadas por unas piezas de unión (Fig. 3.1.1). Es el sistema que mejor aprovecha la madera disponible y de esta forma las pistas son intercambiables y podemos modificar de manera sencilla las carreteras de la ciudad.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

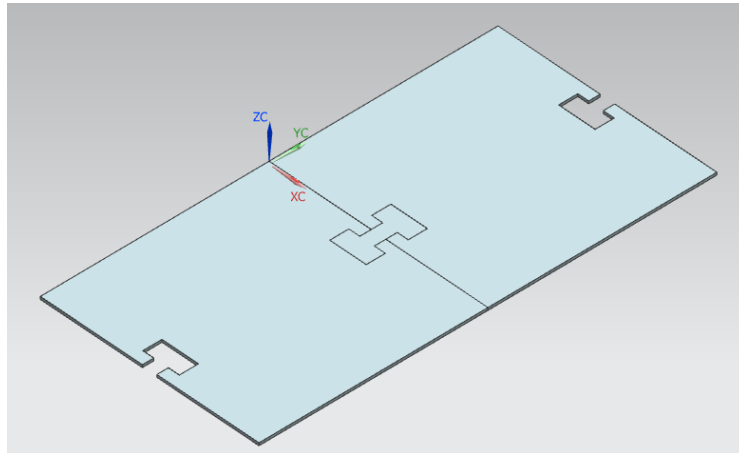


Fig. 3.1.1 Diseño de pistas con NX con mecanismo de unión

3.1.3. PROTOTIPOS Y REDISEÑO

En el primer prototipo, fabricamos dos pistas con su respectiva unión (Fig. 3.1.2) y soportes para elevarlas. Verificamos experimentalmente el correcto funcionamiento de los soportes con los pasadores, pero detectamos que la pieza de unión central no era estable debido a su tamaño.

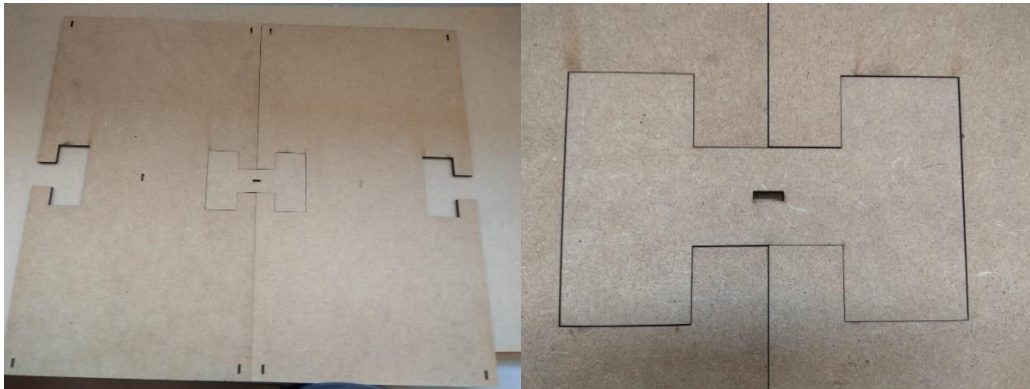


Fig. 3.1.2 Primer prototipo de pistas

Debido a la falta de estabilidad de la región de unión decidimos mantener el diseño de las pistas utilizando dos piezas de unión más pequeñas en vez de una como en el prototipo inicial. Esto nos garantiza estabilidad en las carreteras.

3.1.4 PRODUCTO FINAL

Nuestro producto final consta de 31 placas de madera unidas entre sí por las piezas de unión. Como veremos en las figuras siguientes (Fig. 3.1.3) (Fig. 3.1.4), estas piezas son fáciles de remover para el montaje y desmontaje de las pistas gracias a una pequeña pestaña.

Hemos decidido utilizar un grosor de 7mm de madera DM (adquiridas en Servei Estació) ya que es lo suficiente rígido para aguantar una pisada en caso de accidente y suficientemente flexible para poder encajar con las uniones

Se encuentran elevadas 12mm del suelo, para una altura total de 19mm. Dicha elevación es realizada con 5 elevadores y su respectivo pasador para cada placa de

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

madera y un elevador para cada pieza de unión.

Es necesaria esta elevación de las pistas para poder situar debajo nuestros TAGs para el sistema de RFID, cómo veremos en el siguiente apartado 3.2. Y también para pasar algunos tramos de cableado.

Finalmente, con el objetivo de visualizar la explicación del producto final) (Fig. 3.1.4) (Fig. 3.1.5), mostramos los diferentes tipos de pista con sus respectivos tamaños e imágenes del conjunto implementado en el TestBed.

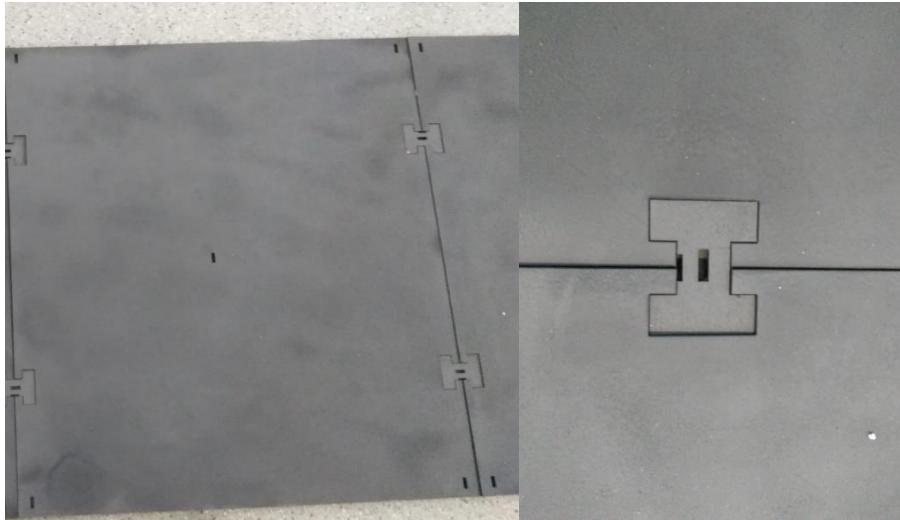


Fig. 3.1.3 Diseño final de pistas rectas

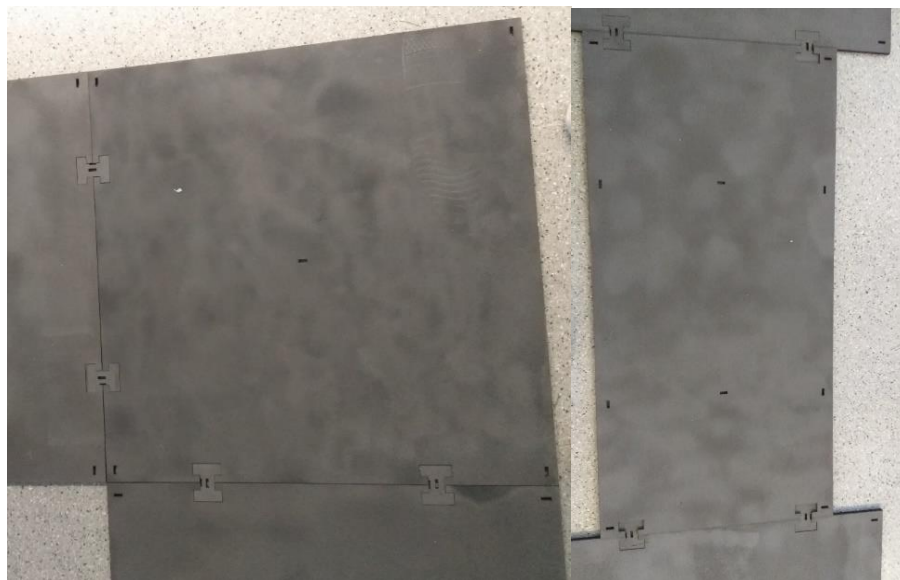


Fig. 3.1.4 Diseño final de pistas esquina y pista por debajo del puente

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.1.5 Vista del conjunto de pistas

Luego añadimos una línea blanca con el uso de cinta adhesiva para que los coches Picar-S puedan seguirla gracias al contraste de colores entre la pista y la cinta (Fig. 3.1.6).



Fig. 3.1.6 Cinta adhesiva en pistas para trazado de movimiento

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.2 SISTEMA DE UBICACIÓN

Este sistema tiene la función de poder ubicar los coches sobre el TestBed a tiempo real.

3.2.1 OBJETIVOS

- Poder conocer la ubicación del coche Picar en el TestBed en todo momento. Objetivo fundamental del TestBed para poder hacer pruebas.
- Capacidad de recibir uno o varios datos que se puedan enviar a los agentes para su posterior programación.
- Económico, que no tenga un coste muy elevado su implementación.

3.2.2 ALTERNATIVAS

NFC

Descripción: La tecnología NFC (Near Field Communication) es una tecnología inalámbrica que funciona en la banda de los 13.56 MHz (en esta banda no hace falta licencia para usarla). NFC es una plataforma abierta pensada desde el inicio para teléfonos y dispositivos móviles. Su tasa de transferencia puede alcanzar los 424 kbit/s por lo que su enfoque más que para la transmisión de grandes cantidades de datos es para comunicación instantánea, es decir, identificación y validación de equipos/personas.

Alcance y precisión: el alcance de la tecnología NFC es muy reducido, pues se mueve como máximo en un rango de los 10 cm.

Coste: Existe un amplio rango de etiquetas, según el material cómo estén hechas. Desde adhesivas hasta metálicas. El precio por etiqueta puede oscilar desde 0'1€ hasta 1'2€ por etiqueta.

Finalmente obtenemos como conclusión que esta tecnología es muy precisa y accesible debido a su coste, pero su alcance es muy bajo.

GPS

Descripción: La tecnología GPS (Global Positioning System), es un sistema que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto (una persona, un vehículo, a través de un dispositivo con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

Alcance y Precisión: bajo, debido a que es una tecnología de largo alcance. Además, debemos tener en cuenta que la señal llega de forma defectuosa a ubicaciones interiores o subterráneas.

Coste: La infraestructura asociada con el GPS tiene un coste altísimo, por suerte, el acceso a esta tecnología es gratuita para usuarios y empresas.

Esta opción queda descartada debido a su alto coste y a su baja precisión. También hay que tener en cuenta que en interiores puede fallar la señal.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

RFID

Descripción: las etiquetas RFID (Radio Frecuencia identificación), es una forma de comunicación Wireless que usa las ondas de radio para identificar y rastrear objetos. Un sistema RFID se compone de etiquetas, lectores que se comunican entre ellos usando radio frecuencia y un software. Pueden ser sistemas de comunicación activos (en el que ambos equipos con chip RFID generan un campo electromagnético e intercambian datos) o pasivos (en el que solo hay un dispositivo activo y el otro aprovecha ese campo para intercambiar la información) según como estén configurados. Este tipo de tecnología es muy usada en logística y gestión de almacén.

Alcance y precisión: La exactitud RFID varía según el tipo de etiqueta, la antena y lectores utilizados, pero es posible identificar hasta 1.000 etiquetas por segundo a casi el 100% de las tasas de lectura.

Coste: Debido a que existen muchísimas soluciones basadas en RFID, el coste puede ser igual de variable.

Este sistema es muy interesante para nuestro proyecto ya que permite una gran precisión y tiene una implementación relativamente sencilla.

OTROS

Como otras opciones se encuentran el uso de sensores de distancia en el TestBed, cámaras 3D u otros elementos similares. Pero descartamos estas opciones por temas de funcionalidad, costes y la cantidad de cableado.

3.2.3 RFID. TECNOLOGÍA ESCOGIDA. FUNCIONAMIENTO

Para nuestro proyecto, debido a las características necesarias, las opciones más viables era el uso de NFC o RFID, y hablamos con Dipole, una empresa especializada en este sector. Allí nos aconsejaron teniendo en cuenta las características del TestBed que utilizáramos el sistema RFID ya que según esta empresa reúne las características necesarias para la trazabilidad de vehículos en movimiento.

Implementación RFID

Los sistemas RFID se clasifican según la frecuencia a la que trabajan, condicionando su velocidad de comunicación y alcance.

Existen los denominados de baja frecuencia o LF (low frequency) de 125 Khz. Su velocidad de comunicación es relativamente baja y su alcance es alto.

Por otro lado, existen las de alta frecuencia o HF (high frequency) de 13,5 Mhz, la velocidad con las que se comunican es buena, pero para sistemas que son de bajo alcance donde su rango de lectura es < 1 metro.

Etiquetas o TAGs

Una etiqueta RFID está formada de un chip muy pequeño con una antena incorporada. A pesar de que los chips son pequeños, las antenas no lo son y eso es debido a que

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

necesitan ser lo suficientemente grandes para recibir la señal emitida por los lectores. La antena permite que una etiqueta pueda leerse a una distancia >10 metros, incluso a través de distintos materiales.

Las etiquetas pasivas son baratas, este tipo de etiquetas no poseen ningún tipo de alimentación eléctrica. A través de la señal que emiten los lectores/antenas crean una pequeña corriente eléctrica, la cual es suficiente para operar el circuito de la etiqueta de tal manera que puede generar y transmitir información.

Las etiquetas activas, a diferencia de las pasivas, poseen su propia fuente de energía, normalmente en forma de batería, la cual utilizan para alimentar sus circuitos y de esta manera enviar su señal. Además, brindan un mayor rango de alcance, lo cual las hace útiles para artículos que tienen que ser identificados y están dentro de un campo magnético de radiación.

Lector

Es responsable de la comunicación con cualquier etiqueta dentro de su rango y después presentar la información en el host central a través de un software para poder hacer uso de los datos. El rango de frecuencia al que opera el sistema es definido por el lector debido a que es la antena del lector la que emite la energía usada por las etiquetas pasivas implementadas.

Se han utilizado el lector MIFARE MFRC522 y los TAGs MIFARE (Fig. 3.2.1), porque son compatibles con Arduino, económicos y fáciles de encontrar. Ambos de alta frecuencia porque nos interesa que la velocidad de comunicación sea rápida para poder ubicar el coche a tiempo real y el rango de lectura cumple con los requisitos de nuestro sistema (de 0 a 6 centímetros). Los lectores estarán ubicados en los propios coches conectados a un Arduino y las etiquetas, que serán pasivas y por lo tanto no necesitarán alimentación eléctrica, bajo las pistas. La distancia que hay entre ellos es de alrededor de 2 centímetros.

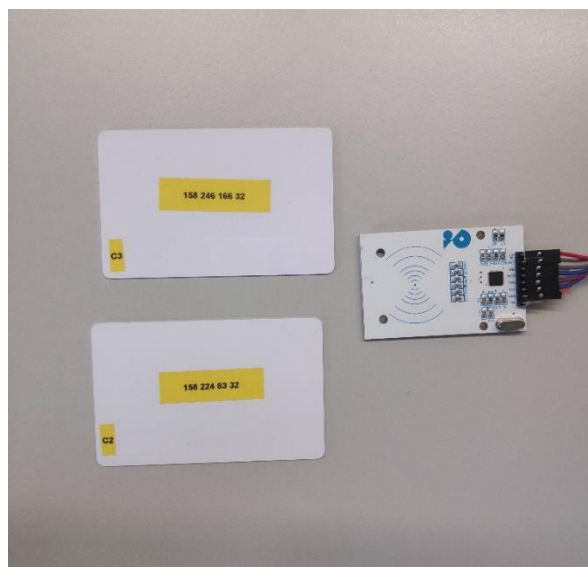


Fig. 3.2.1 Lector RC522 y TAGs de alta frecuencia (13,5 MHz)

Este lector incorpora tres tipos de comunicación: por bus I2C (Inter-Integrated Circuit), UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) y SPI (Serial Peripheral Interface). Nosotros elegimos utilizar la conexión SPI ya que el fabricante de los lectores

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

El bus SPI tiene una arquitectura de tipo maestro-esclavo, donde el dispositivo maestro puede comunicarse con uno o varios esclavos, pero estos no pueden comunicarse entre ellos. En nuestro caso, Arduino es el maestro y el lector es el esclavo. Además, la comunicación es bidireccional por dos líneas independientes MOSI (Master Out – Slave In) y MISO (Master In – Slave Out) por lo que el maestro y esclavo pueden enviarse datos al mismo tiempo. También es un bus con capacidad síncrona, ya que el maestro proporciona una señal de reloj (SCK). Y por último se requiere una línea adicional SDA (Data) por cada esclavo y una línea de Reset (RST).

The diagram shows an Arduino Uno board with an RFID-RC522 module connected. The Arduino pins are labeled: 3V3, 5V, Vin, RST, AREF, D13, D12, D11, D10, D9, D8, D7, D6, D5, D4, D3, D2, D1, D0, A0, A1, A2, A3, A4, A5, and GND. The RFID module pins are labeled: SDA, SCK, MOSI, MISO, RST, VCC, and GND. The connections are: SDA to D4, SCK to D5, MOSI to D6, MISO to D7, RST to D8, VCC to 5V, and GND to GND. The module also has a 3.3V pin connected to the 3.3V header pin. The module's antenna is visible on the bottom.

3.2.4 PROGRAMACIÓN

La segunda parte de la programación desarrollada en la Raspberry Pi consiste en pasar esta lectura del Arduino a la Raspberry Pi por el puerto serie y poder ejecutar una acción de acuerdo al ID leído. Este test se encuentra desarrollado en el apartado 5.1.2 y su respectivo código en el anexo B.2.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.3 COCHES SUNFOUNDER PICAR-S Y PICAR-V

3.3.1 PRODUCTO

Los coches PICAR son un producto de la compañía SunFounder. Son inteligentes ya programables mediante el uso de varios modelos de la Raspberry Pi. Contiene varios sensores, elementos motores y permite al usuario programarlo de acuerdo con su necesidad en lenguajes como Python. El centro CRAAX cuenta con 3 coches de 2 modelos distintos: 2 PICAR-S (Fig. 3.3.1) y 1 PICAR-V (Fig. 3.3.2).

El PICAR-S [11] tiene 3 módulos de sensores:

- Ultrasonido para esquivar obstáculos
- Seguimiento de luz
- Seguimiento de línea



Fig. 3.3.1 Coche Picar-S

El PICAR-V [12] incluye una cámara con un gran campo de visión USB, permitiéndole al usuario controlar el coche manualmente a través de una pantalla.



Fig. 3.3.2 Coche Picar-V

3.3.2 USO

Las pistas de nuestro TestBed tendrán una línea blanca que los coches Picar-S podrán seguir para realizar diferentes pruebas. Además, debajo de las pistas se encontrarán unos TAGs RFID (Tarjetas MIFARE), cada uno con una clave única.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Para poder leer estos TAGs incorporaremos en la parte inferior del coche el lector RC522 (Fig. 3.3.3) . El funcionamiento de este sistema se encuentra explicado en el apartado 3.2.3 de este documento.

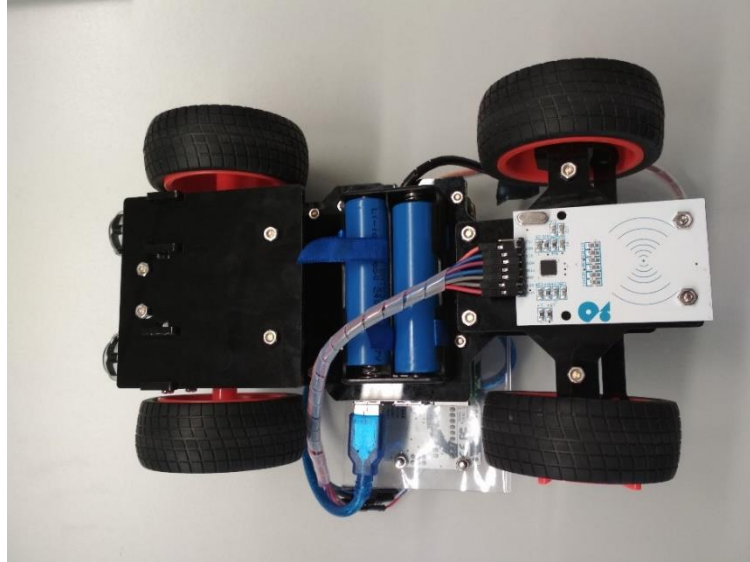


Fig. 3.3.3 Lector RFD incorporado al Picar SunFounder

Debido a que el coche incorpora una placa electrónica propia llamada HATS que se coloca encima de la Raspberry Pi, la cual bloquea los pines de la comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) de la Raspberry Pi, complicando la conexión directa del lector RFID a esta, hemos decidido añadir un Arduino UNO al coche.

El lector RFID está comunicado con el Arduino, haciendo posible la lectura de los TAGs y así poder ubicar el coche a tiempo real en el TestBed. Y el Arduino enviará los datos de lectura a la Raspberry Pi mediante la conexión por el puerto serie.

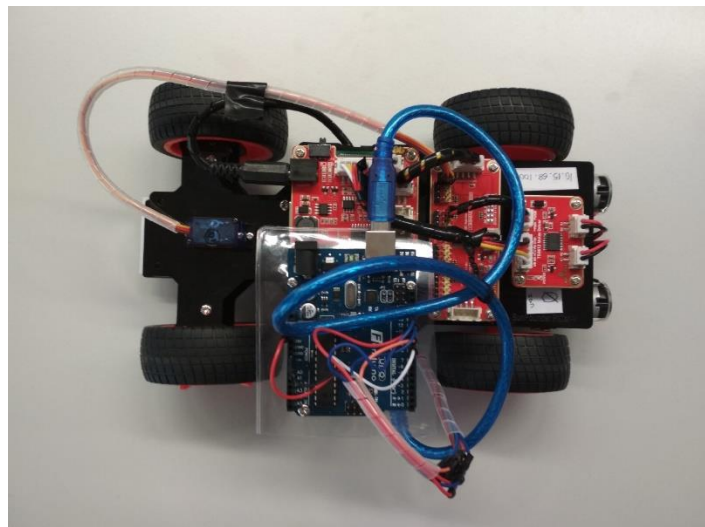


Fig 3.3.4 Arduino y Raspberry Pi conectados mediante el cable serial

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.4 RASPBERRY PI 3

La Raspberry pi 3 (Fig. 3.4.1) es un miniordenador de pequeño tamaño, bajo coste y bajo consumo. Además de un ordenador Raspberry pi 3 incorpora funciones de electrónica como pines GPIO (General Purpose Input/Output), y de comunicación como UART, SPI y I2C.

Estas funciones hacen que pueda ser empleado en proyectos de electrónica y robótica interactuando con sensores (temperatura, luz, aceleración...) y actuadores (motores,



Fig. 3.4.1 Raspberry Pi 3

Las especificaciones del dispositivo utilizado son:

- CPU: 4x ARM Cortex-A53 1,2 GHz (4nuc)
- RAM: 1 GB
- Storage: 16 GB micro SD
- SO: Raspian

Uso

Las Raspberries en el TestBed simbolizan agentes en relación con el proyecto mf2c como se explica en el apartado 2.1. Se han escogido ya que son elementos en los que se pretende incorporar el Software del grupo de investigación CRAAX en un futuro y ya disponían varias de ellas.

En este proyecto se programan para enviar/recibir las lecturas de los TAGs RFID, enviar las lecturas y los cambios de estado al FrontEnd y enviar comandos a los Arduinos para que estos cambien de estado los diferentes elementos del TestBed como puente, semáforo y farolas.

3.5 ARDUINO

Es una placa programable con entradas y salidas digitales y analógicas, cuyo bajo coste la hace ideal para realizar pequeños proyectos domésticos en electrónica y robótica. Esto significa que disponemos de un pequeño "autómata", capaz de recibir información del entorno (sensores) y realizar acciones (actuadores, motores...), según un programa que introducimos con un ordenador, y que puede ejecutar de forma autónoma.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.5.1 Arduino UNO

Uso

Los Arduinos en el banco de pruebas simbolizan los diferentes elementos IoT en una ciudad. En este proyecto se encargan de recibir comandos de los Raspberries Pi y están programados para ejecutar un cambio de estado como el encendido de un LED en un semáforo o farola y el movimiento del puente.

3.6 SEMÁFOROS

En este apartado se encontrarán los objetivos a cumplir por el semáforo, luego se presentarán sus primeras etapas de diseño donde se han dibujado 3 modelos y el cliente ha escogido su favorito. Se ha procedido a prototipar dicho modelo, probarlo y si no funciona o se requiere algún cambio, se repite el proceso. Finalmente se define el producto final.

3.6.1 OBJETIVOS DEL SEMÁFORO

- Tener LEDs que puedan encenderse mediante programación de un Arduino.
- Tener algún sistema que indique una emergencia.
- Capaz de moverse de sitio de una manera rápida y sencilla.
- Económico de fabricar.

3.6.2 DISEÑO

El semáforo consta de 3 partes principales: la cabeza y su tapa, el tubo y el anclaje al TestBed.

Propuestas de diseño de la cabeza

Para la cabeza, la primera idea que tuvimos fue hacer el semáforo con un único LED con señal PWM con la capacidad de cambiar de color dependiendo del voltaje que se le introduzca.

La segunda idea fue realizar el semáforo con 4 LEDs. Está hecho para simular el servicio de un semáforo de la vida real. Funcionaría igual, rojo(parar), ámbar(cambiar a rojo) y verde(circular), pero le hemos añadido un color más, el azul; este LED simboliza el estado de emergencia, ya sea porque hay un accidente, porque necesita preferencia la ambulancia, etc. La idea era colocar este último LED azul en una posición diferenciada respecto al resto para indicar que su funcionalidad es muy diferente a los demás colores de la vida cotidiana.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Aunque lo normal es que nadie reconozca a primera vista la funcionalidad del LED azul porque no existe nada parecido en la vida cotidiana, la idea del TestBed es precisamente probar ideas nuevas. Hemos escogido este color porque se puede relacionar con las luces intermitentes de un coche de policía o bomberos.

Hemos decidido utilizar LEDs comunes de 5mm, ya que cada uno resaltaba su color, aunque estuviera apagado y estéticamente coincidía con un semáforo real.

Lamentablemente la primera idea no fue de agrado para el cliente, por lo que hemos decidido continuar con la segunda, es decir, la de 4 LEDs.

El tamaño del semáforo se ha escogido respetando la relación de dimensiones entre un coche y un semáforo real. Se ha tomado de dimensiones de coche el propio de nuestro TestBed. Hemos tomado como dimensiones 20x40x15 milímetros.

A continuación, hemos hecho algunos diseños en CAD probando diferentes posiciones del LED azul:

- **Primer diseño**

Este primer diseño (Fig. 3.6.1) pretende saludar al observador con un brazo que sale por un lado del cuerpo principal. El LED azul se encuentra al final de este brazo, destacando su posición. La luz de emergencia sería simplemente encender el LED azul de forma permanente o encenderlo de forma intermitente.

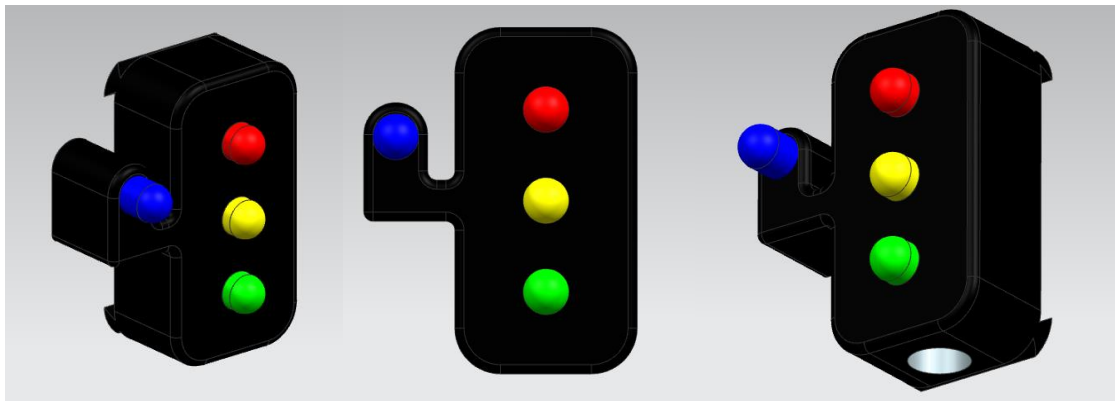


Fig. 3.6.1 Primer diseño de semáforo

- **Segundo diseño**

Este diseño (Fig. 3.6.2) tiene el LED azul en la parte superior y pretende imitar a un coche de policía, ambulancia o camión de bomberos. La luz de emergencia puede ser tanto encender solo el LED azul o titilar juntamente con el LED rojo que está justo abajo del LED azul.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

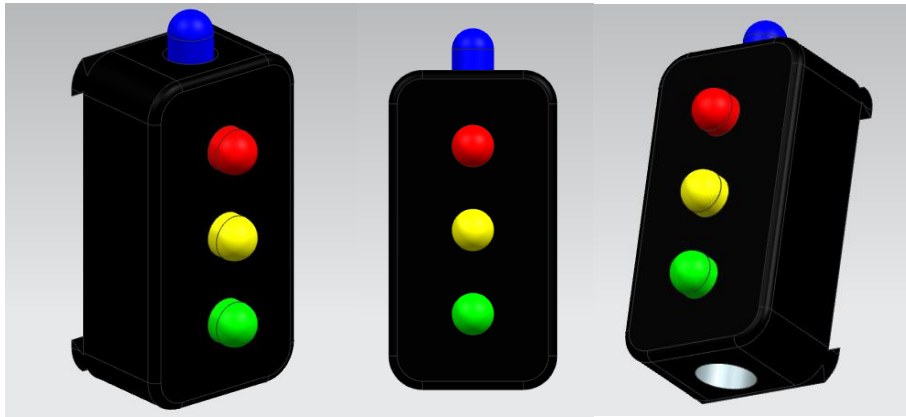


Fig. 3.6.2 Segundo diseño de semáforo

- **Tercer diseño**

El tercer diseño (Fig. 3.6.3) es muy similar al segundo, pero con una forma triangular para resaltar el LED azul en la parte superior. La iluminación de emergencia sería igual que el segundo.

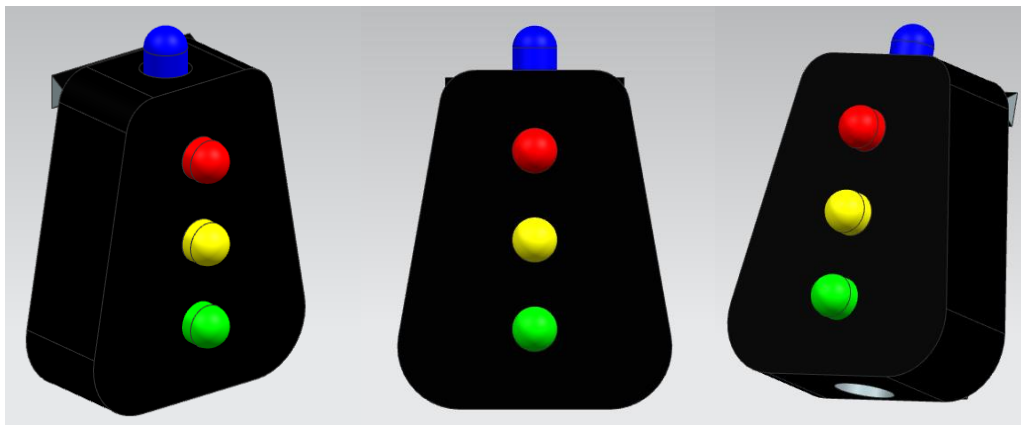


Fig. 3.6.3 Tercer diseño de semáforo

Se le han enseñado los 3 diseños al cliente y su favorito ha sido el segundo, por lo que hemos procedido a la fase de prototipado.

Propuestas de diseño de la tapa

Ya que se han de colocar los LEDs dentro del semáforo y soldar, hemos diseñado una tapa con un mecanismo de raíl triangular (Fig. 3.6.4) con el objetivo de poner y sacar los elementos. Hemos escogido este mecanismo porque es fácil de poner y quitar manualmente y al momento de fabricar en impresión 3D, se diseña de tal modo de evitar la creación de soportes, tema del cual hablaremos en el apartado 4.1 de este mismo documento.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

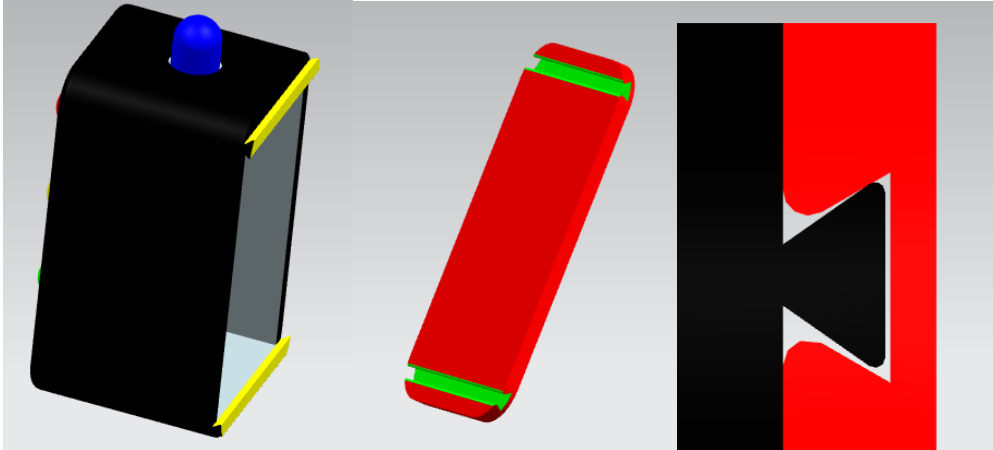


Fig. 3.6.4 Diseño de mecanismo Raíl Triangular de la tapa de la cabeza del semáforo

El agujero del raíl triangular es ligeramente más grande respecto a las dimensiones del raíl triangular del semáforo para evitar una fricción elevada que dificulte el mecanismo.

Propuestas de diseño del tubo

Se ha decidido comprar este elemento por fines económicos y funcionales. Al ser un elemento de compra, las dimensiones de la cabeza y el anclaje donde se sitúa esta pieza se han definido en base a las dimensiones del tubo.

El tubo tiene que ser hueco ya que por dentro pasarán 5 cables; 4 positivos de cada semáforo y el neutro. Compramos un tubo de plástico PVC en BAUHAUS de diámetro exterior igual a 7mm y con un grosor de 1mm.

Estos tubos se venden por metro, por lo que se cortaron manualmente a la medida de 33cm.

Propuestas de diseño del anclaje

Hemos creado un sistema de anclaje que nos permite cambiar la ubicación de los semáforos fácilmente. Lo ideal sería poner bases por todo el TestBed y luego poner los semáforos que necesitamos en las bases. Este sistema está diseñado para poder sacar el semáforo fácilmente tirándolo solo hacia arriba cogiéndolo del tubo. Por el interior del tubo del semáforo habría unos pines Dupont (Fig. 3.6.5) machos y en la parte del anclaje los pines serían hembras; funcionaría como un enchufe normal, pero con 5 pines.



Fig. 3.6.5 Cables Dupont

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

El objetivo de este anclaje es facilitarnos los movimientos de los semáforos, imprimir solo los necesarios y que podamos crear distintos escenarios dentro del TestBed. Con esto también conseguimos menor tiempo en preparar los ensayos/escenas que queramos hacer.

Consta de 2 piezas:

- **La pieza de conexión:** es una pequeña pieza donde conecta el tubo de plástico con el soporte. Está pensada para que solo tenga una posición y no se pueda equivocar a la hora de conectarla (poka-yoke). Hecha en impresión 3D (Fig. 3.6.6).

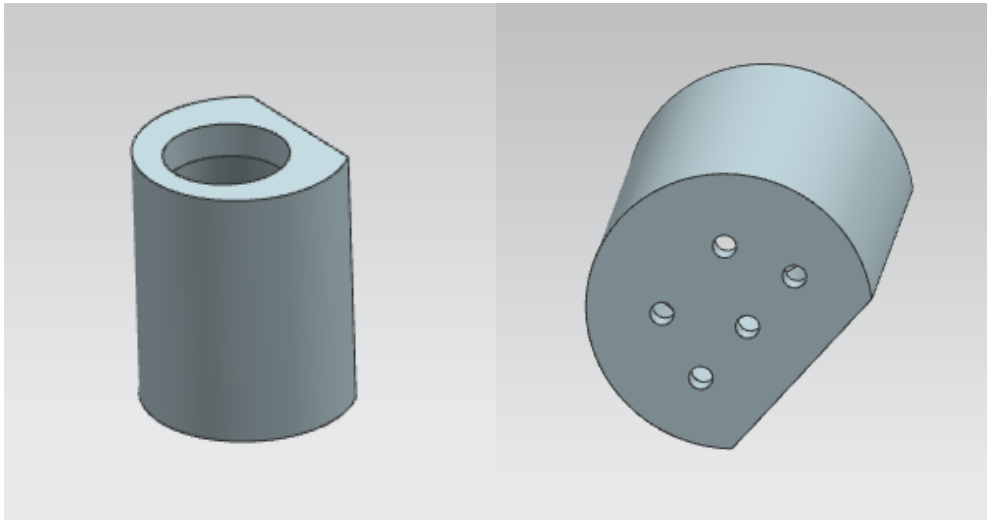


Fig. 3.6.6 Primer diseño de la pieza de conexión entre la base y el tubo del semáforo

- **Soporte:** esta pieza (Fig. 3.6.7) fue diseñada por nosotros y está hecha con la impresora 3D. Va encajada a la pista, donde se conecta la pieza de conexión. De allí, los cables salen hacia el Arduino por la parte inferior. Su forma en “L” es para sujetarse por debajo de la pista.

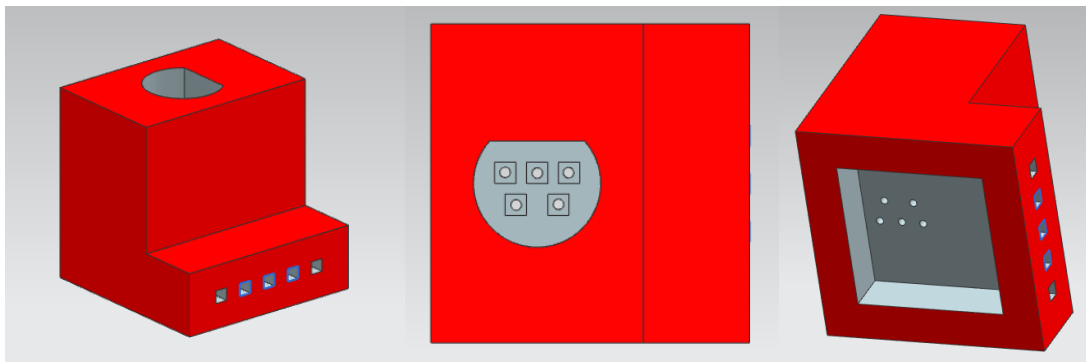


Fig. 3.6.7 Primer diseño de la base del semáforo

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.6.3 PROTOTIPOS Y REDISEÑO

Primer prototipo del semáforo (Fig. 3.6.8)



Fig. 3.6.8 Primer prototipo del semáforo

A continuación, se muestra una tabla (Fig. 3.6.9) con los pros y contras del primer diseño y las acciones para mejorarlo.

PROS	<ul style="list-style-type: none">• Al cliente le ha gustado estéticamente• Los LEDs brillan bastante y se pueden distinguir a lo lejos cuando están encendidos y cuando no• El mecanismo de raíl triangular funciona muy bien• El mecanismo poka-yoke funciona y es fácil montar y desmontar• La calidad y precisión de la impresora 3D es buena
CONTRAS	<ul style="list-style-type: none">• Soldar en un espacio tan pequeño como la cabeza es muy complicado, no hay espacio para una placa de topes, además de tener un acabado pobre• Muy pequeño en comparación con el resto del TestBed• Se puede ver a través de las paredes de 1mm de grosor y son un poco frágiles• Los cables en la pieza de conexión bailan y el tubo interfiere con ellos• Las medidas de cables Dupont miradas en <i>datasheet</i> no coincidían con las reales.• El espacio por debajo del anclaje para pasar los cables es muy pequeño

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

ACCIONES	<ul style="list-style-type: none">• Diseñar una placa PCB donde soldar los LEDs, implementar el circuito que necesitamos y que se pueda meter fácilmente.• Duplicar el tamaño del semáforo. Conseguir LEDs y tubos más grandes en comparación al nuevo tamaño• Reducir grosores de paredes laterales de 5mm a 2mm para tener más espacio y reducir tiempo de impresión. Utilizar grosores de al menos 2mm.• Conservar diseño estético y dimensiones de raíl triangular• Rediseñar pieza para prevenir el baile de cables y la interferencia con el tubo• Adquirir cables y conectores para medir manualmente sus medidas.• Aumentar el espacio de la parte de abajo
----------	---

Fig. 3.6.9 Tabla de pros contras y acciones del primer prototipo del semáforo

Rediseño y segundo prototipo del semáforo

Placa PCB

Un circuito impreso PCB (Printed Circuit Board) es una superficie que cuenta con pistas conductoras por las cuales fluye una corriente eléctrica y que al mismo tiempo conecta a diferentes componentes electrónicos en base a un previo diseño.

La placa PCB se implementó porque los prototipos anteriores, al soldarlos directamente con el cable o la placa de topos, no se veían seguros y además su soldadura resultaba complicada de realizar. Con el producto final, nos aporta facilidad de recambio, un solo bloque, fácil uso, poco tiempo de implementación en soldar y mejor estética en el producto.

Se diseñó la placa (Fig. 3.6.10) de tal manera que entrara sin problemas en la cabeza del semáforo y que los LEDs coincidieran en ubicación con la de los agujeros del semáforo para poder introducir la placa sin problemas. Se aprovechó también para incorporar las resistencias y todo el circuito interno con la salida de los 5 cables, 4 positivos (1 por cada LED) y 1 neutro, mediante el uso de un conector de 5.

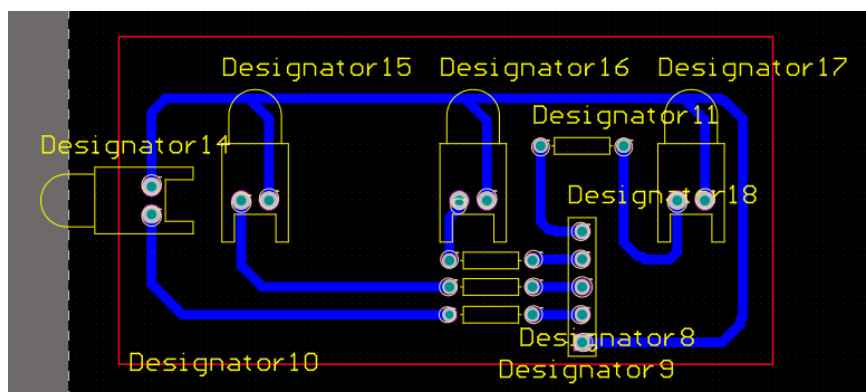


Fig. 3.6.10 Primer diseño de placa PCB mediante el programa Altium

Conseguimos LEDs de 10mm de colores para compensar la duplicación del tamaño del semáforo. Se compró un tubo más grande acorde a las dimensiones de la nueva cabeza en la tienda Servei Estació. El tubo final cuenta con unas dimensiones de 15mm y 12mm de diámetro exterior e interior respectivamente.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Debido al aumento del tamaño del tubo, se ha incrementado el tamaño de las nuevas piezas de anclaje. Se han propuesto 2 nuevas ideas para solucionar el problema del anclaje:

- Seguir utilizando los cables Dupont. Pero realizando una guía para la cabeza de los cables Dupont (color verde en la Fig. 3.6.11) para encajar y eliminar el movimiento de los pines de conexión. Para solucionar el problema de tensionar los cables hemos diseñado un tope (color rojo en la Fig. 3.6.11) donde se apoyará el tubo.

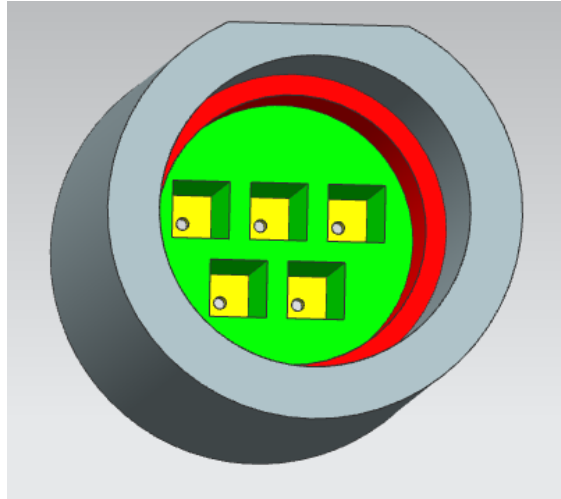


Fig. 3.6.11 2º diseño de la pieza de encaje entre base y tubo utilizando cables Dupont

- Aprovechando el aumento de tamaño de la pieza se compró un conector HJST de 5 pines (Fig. 3.6.12), su macho y hembra respectivamente. Se tomaron medidas y se hizo un diseño acorde a sus dimensiones.



Fig. 3.6.12 Conectores HJSP

La parte macho del conector HJST se introduciría por arriba de la pieza de conexión (pieza amarilla en la Fig. 3.6.13). Y la parte macho del conector HJST se introduciría por arriba de la pieza soporte (pieza azul en la Fig. 3.6.13). Pasando los cables por debajo de la pieza del soporte hacia la pista.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

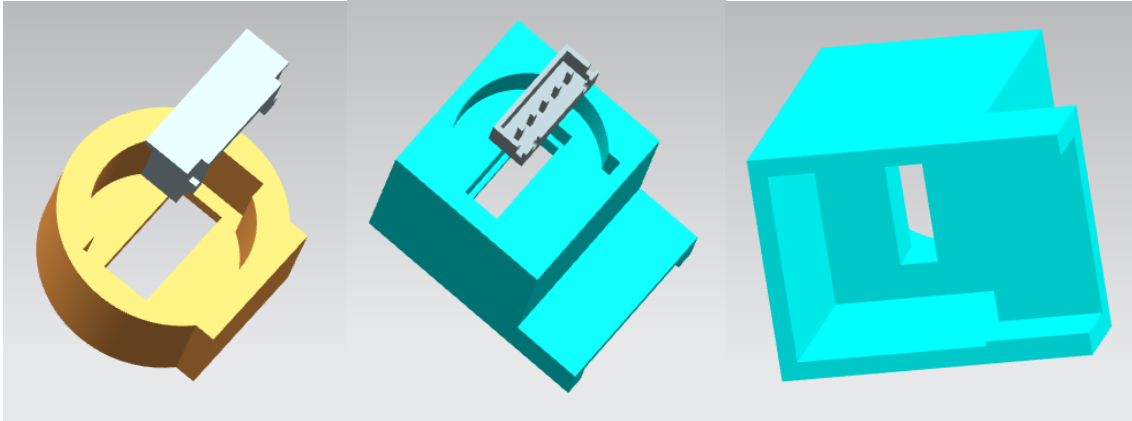


Fig. 3.6.13 Primer diseño de la pieza de encaje entre base y tubo de semáforo conector HJST

En la siguiente figura (Fig. 3.6.14) podemos ver todo el mecanismo del anclaje:

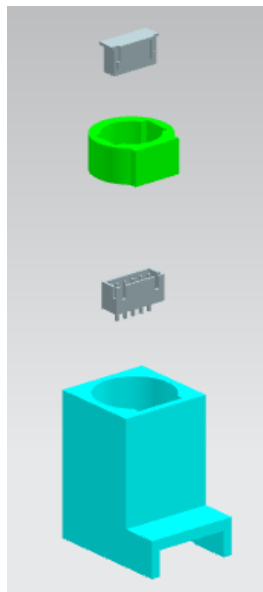


Fig. 3.6.14 Mecanismo de anclaje

Se ha escogido la idea número 2 (Fig. 3.6.15) debido a que la conexión del conector HJST es más fuerte y da más seguridad que la de los cables Dupont.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

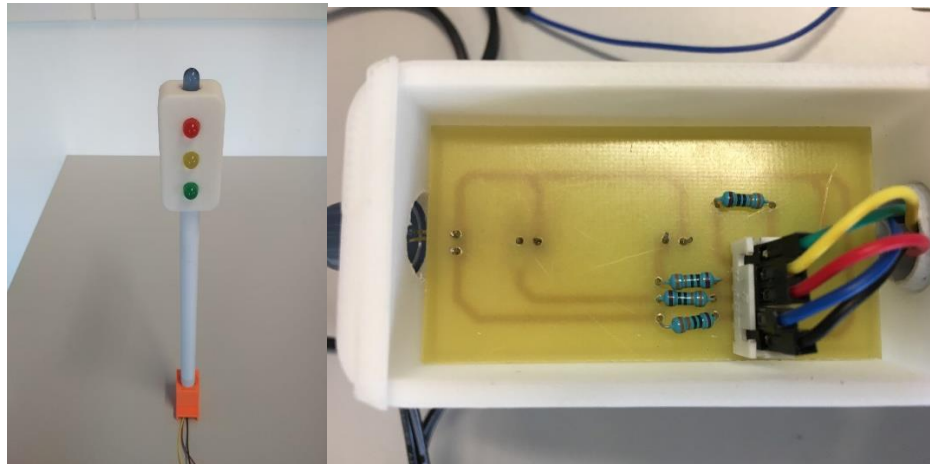


Fig. 3.6.15 Segundo prototipo del semáforo

A continuación, se muestra una tabla (Fig. 3.6.16) con los pros y contras del segundo diseño y las acciones para mejorarlo.

PROS	<ul style="list-style-type: none">• Al cliente le agrada el nuevo tamaño• La placa PCB funciona• El nuevo sistema de anclaje funciona
CONTRAS	<ul style="list-style-type: none">• Los nuevos LEDs brillan poco• Tiempos de impresión 3D muy largos. Problemas con impresora 3D• La ubicación del agujero del LED azul da problemas para ensamblar este LED con la placa PCB• Debido al diseño de la placa PCB, su fabricación consistía en una eliminación innecesaria de cobre.
ACCIONES	<ul style="list-style-type: none">• Como la funcionalidad es prioritaria a la estética, buscar LEDs de 10mm transparentes con los mismos colores, pero de mayor brillo.• Añadir un elemento al TestBed hecho de madera en cortadora láser para realizar un nuevo sistema de anclaje y al mismo tiempo para pasar los cables y tener tiempo de imprimir suficientes semáforos. Este nuevo elemento serán las aceras y se hablará de ellas en el apartado 3.7 de este documento.• Rediseño de la placa PCB, conservando la mayor cantidad de cobre posible como neutro para eliminar interferencias y facilitar su fabricación• Mover el agujero del LED azul hacia el medio y agrandar un poco el semáforo en profundidad

Fig. 3.6.16 Tabla de pros contras y acciones del segundo prototipo del semáforo

Rediseño y tercer prototipo del semáforo

El diseño de la nueva placa (Fig. 3.6.17) (Fig. 3.6.18) toma en cuenta la mínima eliminación de cantidad de cobre posible. Además de hacer los agujeros más grandes para poder soldar mejor los componentes. También se ha modificado la ubicación del agujero para el LED azul del semáforo moviéndolo al medio de la cabeza para facilitar su montaje.

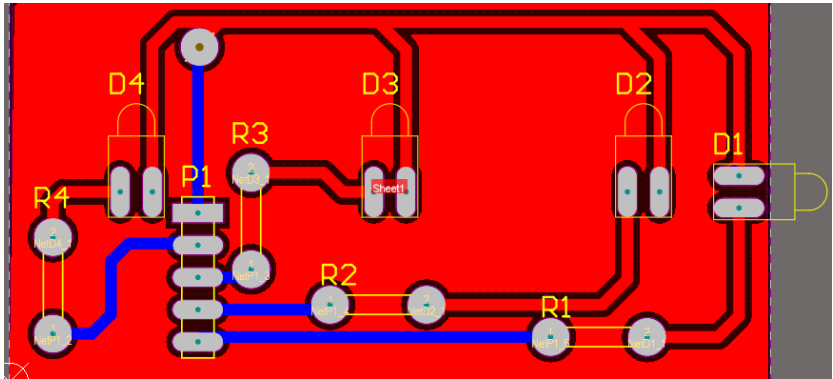


Fig. 3.6.17 Segundo diseño de la placa PCB mediante Altium

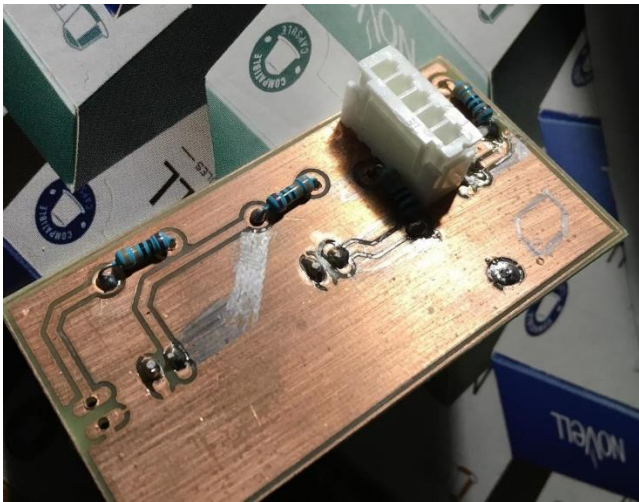


Fig. 3.6.18 Segundo prototipo de placa PCB

A continuación, se muestra una tabla (Fig. 3.6.19) con los pros y contras del tercer diseño y las acciones para mejorarlo.

PROS	<ul style="list-style-type: none">• La placa se puede introducir sin problemas en el semáforo• Tamaño correcto
CONTRAS	<ul style="list-style-type: none">• Dificultad para introducir el conector de 5 pines en la placa PCB al estar muy próximo al resto de los componentes y solo podía soldarse de un lado de ambas caras
ACCIONES	<ul style="list-style-type: none">• Rediseñar la ubicación de algunos componentes y permitir soldar por ambos lados

Fig. 3.6.19 Tabla de pros contras y acciones del tercer prototipo del semáforo

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.6.4 PRODUCTO FINAL

Una vez mejorado el tercer prototipo, la siguiente versión es el producto final (Fig. 3.6.20).



Fig. 3.6.20 Semáforo final

El semáforo consta de 4 partes:

La cabeza: es la parte superior del semáforo donde están los 4 LEDs, 3 en la parte frontal (rojo, amarillo y verde) y uno encima que es de color azul, simbolizando estado de emergencia. Tiene una pequeña tapa que se introduce por guías de las cuales se ha dado información en el apartado 3.6.2. Dentro se encuentra la placa PCB.

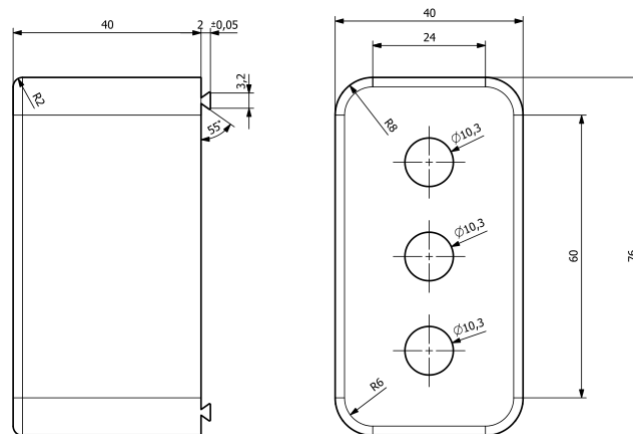


Fig. 3.6.21 Plano de la cabeza del semáforo final

El cuerpo: es simplemente un tubo de PVC de 15mm de diámetro exterior y 12mm de diámetro interior, por su interior pasan los cables de los LEDs.

Conector JST (Fig 3.6.22): es un conector macho de 5 pines que se conecta a su respectiva hembra en las aceras del TestBed. El anclaje solo tiene una forma de ser

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

conectada con su respectiva hembra, por lo que no será posible conectarlo erróneamente además de tener una pequeña pestaña que asegura su correcta conexión.



Fig. 3.6.22 Conector JST

Los LEDs son de 10mm de alta intensidad para poder ver cuando están encendidos sin dificultad en cualquier posición del TestBed. Están soldados a una placa PCB en el interior de la cabeza del semáforo (Fig. 3.6.24).

Finalmente hicimos el producto final (Fig. 3.6.23) con el nombre de las resistencias (R1) y los LEDs (D1) en la placa.

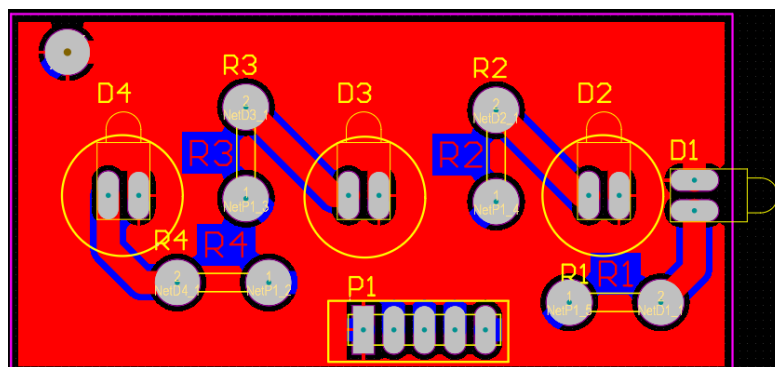


Fig. 3.6.23 Diseño final placa PCB

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

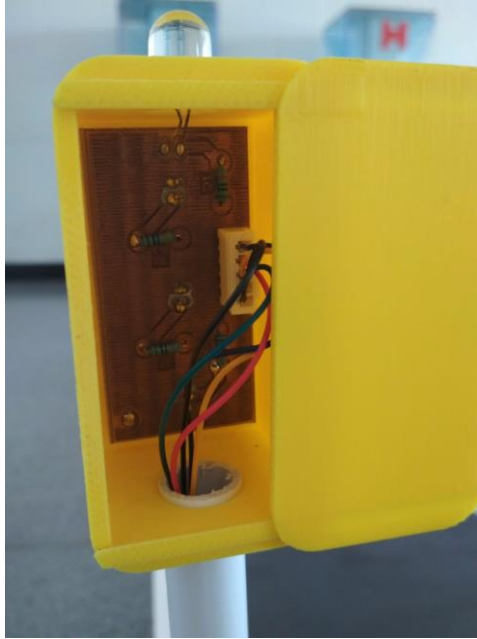


Fig. 3.6.24 Placa PCB incorporada al semáforo

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.6.5 MANUAL DE USUARIO DE CAMBIO DE POSICIÓN DE SEMÁFORO

Este apartado consiste en una pequeña guía para que cualquier usuario pueda cambiar un semáforo de una posición a otra correctamente.

- 1) Remover la tapa de la acera sin alejarla mucho para no tensionar los cables

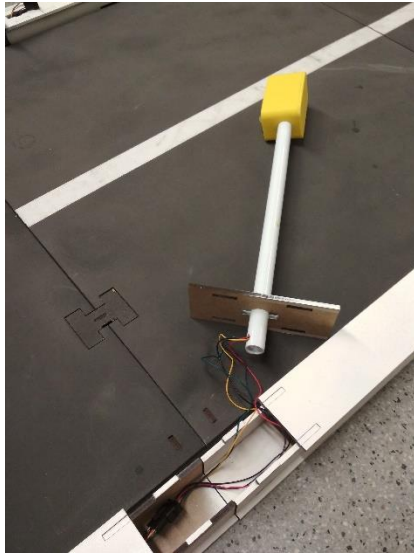


Fig. 3.6.25 Paso 1 cambio del semáforo

- 2) Apretar la pestaña para remover el conector.



Fig. 3.6.26 Paso 2 cambio del semáforo

- 3) Remover el tubo del semáforo de la tapa. Cuidando que los cables y el conector pasen por el agujero rectangular.

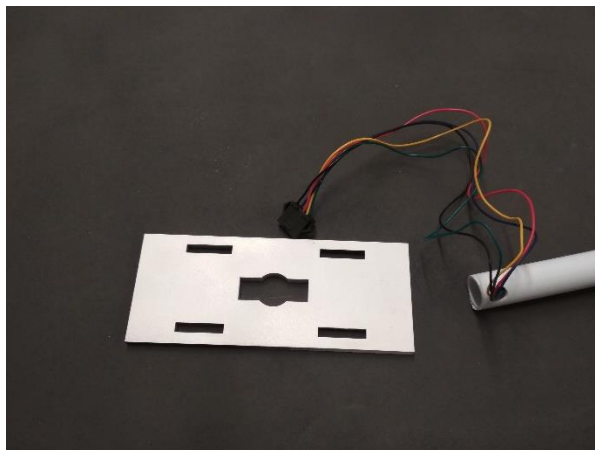


Fig. 3.6.27 Paso 3 cambio del semáforo

- 4) Repetir este mismo proceso de manera inversa en la posición del semáforo deseada.



Fig. 3.6.28 Paso 4 cambio del semáforo

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.7 ACERAS

3.7.1 OBJETIVOS

- Poder pasar los cables y tener acceso a estos fácilmente.
- Tener un sistema para anclar los semáforos y farolas.
- No comprometer el funcionamiento de los coches.
- Simular estéticamente las aceras de una ciudad.

3.7.2 DISEÑO

Este elemento se ha implementado sobre la marcha para solucionar la problemática de por donde pasar los cables y poder anclar el semáforo. Inicialmente se planeaba pasar los cables por debajo de la pista, pero si esta se tiene que levantar para cambiar la posición de los TAGs RFID, los cables tensionarían y no permitirían su separación.

También pensamos en usar productos como las canaletas de cables (Fig. 3.7.1). Colocar una en cada pista y que cada una se conectara mediante conectores. Pero esta idea resultaba muy cara, ya que se debería incorporar en todo el TestBed y no aportaba nada al tema del anclaje del semáforo.



Fig. 3.7.1 Canaletas de plástico de cables

Hemos decidido realizar un diseño propio de madera mediante el uso de cortadora láser, simulando aceras en una ciudad. Resultan más baratas que las canaletas de cable, porque podemos fabricarlas nosotros mismos con la cortadora láser, podemos realizarlas a la medida de nuestro TestBed y tener un sistema más cómodo.

Todas las aceras son unas cajas rectangulares con el tamaño suficiente para pasar los cables, poner conectores dentro de ellas y tienen tapas para poder acceder fácilmente a los cables en cualquier momento. Facilitando la posibilidad de hacer cambios en un futuro. También incorporan una manera de introducir las farolas y los semáforos al TestBed.

Creamos 2 modelos de aceras: una para las partes del TestBed que hacen esquina (Fig. 3.7.2) y otra para las partes rectas (Fig. 3.7.4). De estos modelos hemos creado todas las secciones del conjunto variando las medidas según la pista donde se vaya a colocar.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

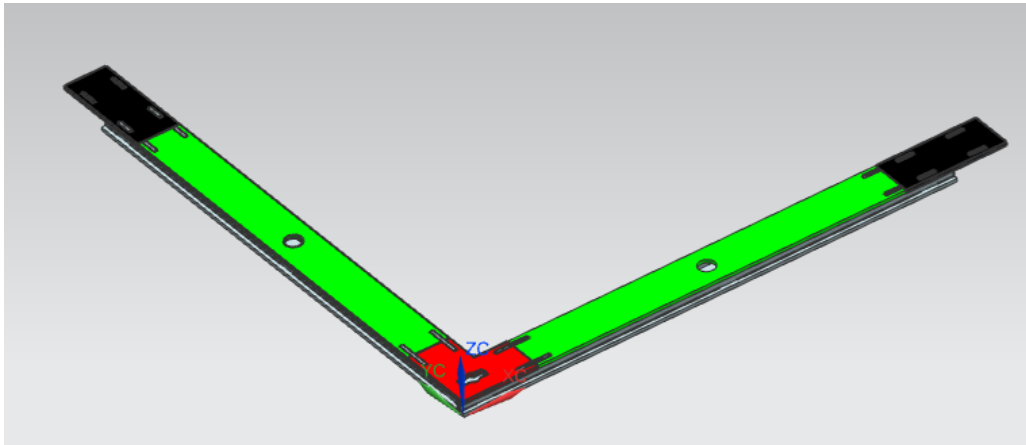


Fig. 3.7.2 Diseño de las aceras que hacen esquina en el TestBed

La parte negra en la Fig. 3.7.2 consiste en una tapa que se introduce con un poco de presión para asegurar que todas las aceras permanezcan unidas. La parte verde es una tapa que se puede sacar y meter fácilmente e incluye un agujero para colocar las farolas.

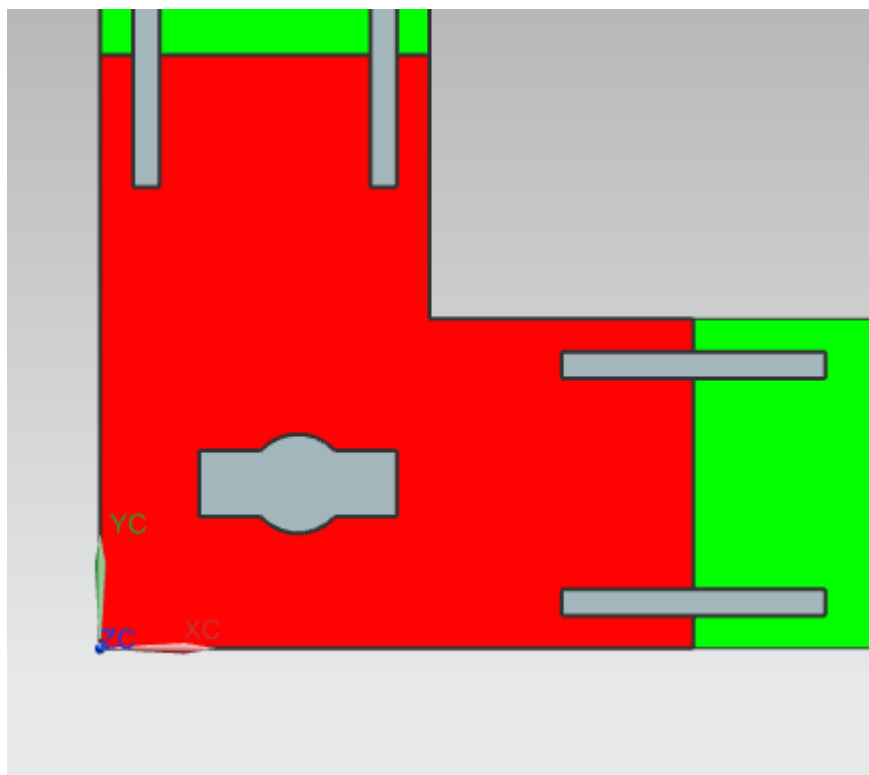


Fig. 3.7.3 Mecanismo nuevo de anclaje del semáforo

Al igual que la parte verde, la parte roja de la Fig.3.7.3 consiste en una tapa capaz de quitar y poner fácilmente. En ella hay un agujero con forma de un círculo más un rectángulo. La parte circular es para poder introducir el tubo del semáforo y la parte rectangular para poder introducir el conector JST de 5 cables. El mecanismo de cambio de posición de semáforos consiste en que dentro de la acera se encontrará la parte hembra de este conector y el usuario será capaz de levantar la tapa, unir los conectores, volver a colocar la tapa en su lugar e introducir el tubo del semáforo.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

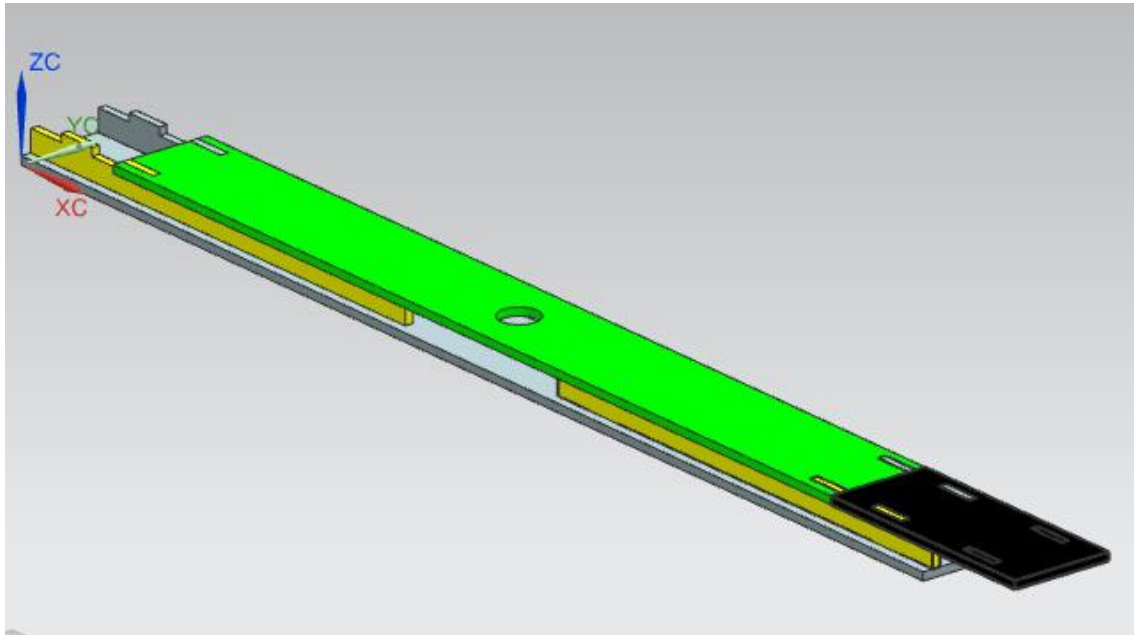


Fig. 3.7.4 Diseño de las aceras rectas en el TestBed

La parte negra y verde cumplen la misma funcionalidad que las aceras que hacen esquina. Pero estas poseen un agujero en las paredes amarillas con el objetivo de pasar los cables de las farolas y los semáforos hacia los contenedores, donde se encontrarán los Arduino. De los contenedores hablaremos en el apartado 3.8 de este documento.

3.7.3 PROTOTIPO

El primer prototipo (Fig. 3.7.5) tenía la misma altura que las pistas, es decir, 1,9 centímetros para no estorbar con el movimiento de los coches. Pero luego de llegar a un acuerdo con el cliente, decidimos hacerlas un poco más elevadas para prevenir que el coche se saliera de la pista.



Fig. 3.7.5 Prototipo esquina interior

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.7.4 PRODUCTO FINAL

Finalmente, el conjunto total consta de 50 secciones de las cuales 16 son esquinas y 34 rectas (Fig. 3.7.6). La sección interior cuadrada por donde pasa los cables tiene un área $3,2 \times 3,1 \text{ cm}^2$ (Fig. 3.7.7).

Cada acera consiste en 4 piezas que se ensamblan mediante pestañas y luego se ensamblan entre ellas por una pieza lateral. La pieza superior es una tapa que se puede desmontar fácilmente para poder realizar cualquier cambio en el cableado.

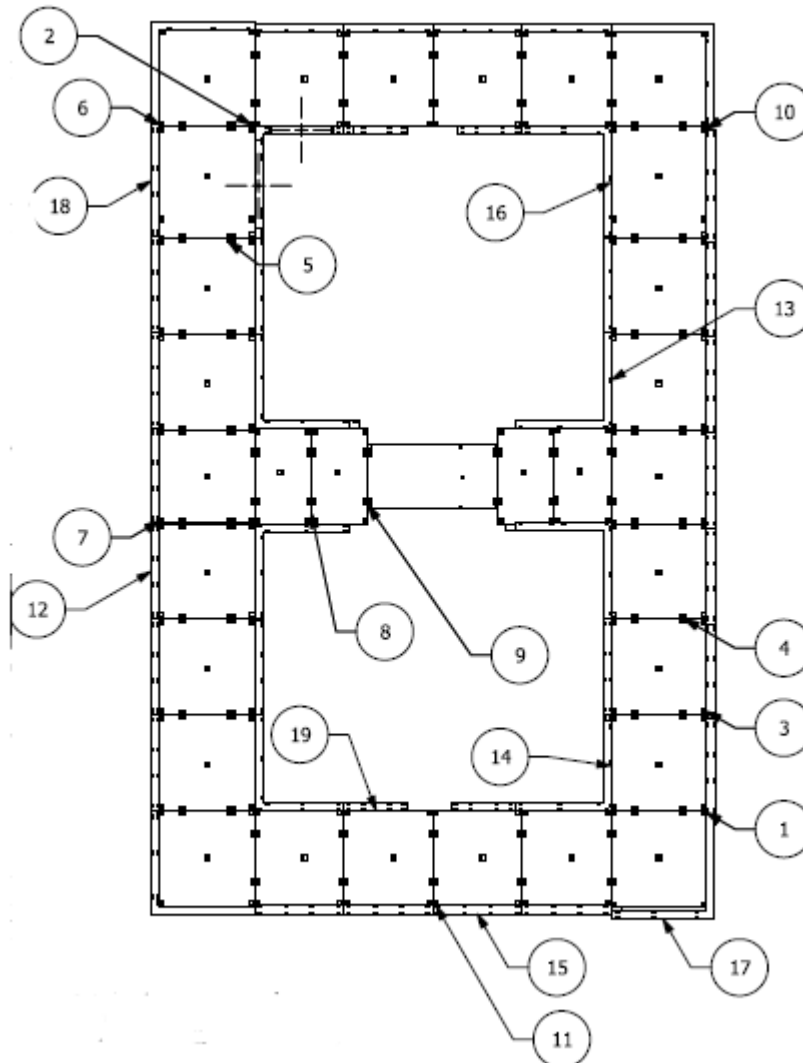


Fig. 3.7.6 Plano de aceras implementadas al TestBed

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.7.7 Cableado en el interior de una acera

Además, poseen agujeros para poder sujetar las farolas y semáforos y también agujeros en las partes laterales para cablear los Arduinos y Raspberries, que se encuentran en los contenedores, con el resto de elementos del TestBed (Fig. 3.7.8).



Fig. 3.7.8 Unión aceras con farolas, semáforos y contenedores

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.8 CONTENEDORES

Son los elementos encargados de resguardar las Raspberries y Arduinos del TestBed mientras a su vez representan un elemento más en una ciudad, en nuestro caso, contenedores de reciclaje.

3.8.1 OBJETIVOS

- Esconder Arduinos, Raspberries y sus respectivos cableados.
- Permitir una entrada y salida de cables hacia el resto del TestBed
- Representar estéticamente un elemento de una ciudad
- Poder acceder a los Arduinos y Raspberries fácilmente para manipular cables y hacer cambios sin problemas.

3.8.2 DISEÑO

Se idearon varias maneras de realizar esta tarea antes de escoger el contenedor. Las ideas más destacables fueron realizar una valla publicitaria con una pantalla LED programable (Fig. 3.8.1) para dar información, como por ejemplo de la velocidad de los coches, estaciones de buses con el propósito de implementar un elemento inteligente al TestBed en un futuro, una estatua con un diseño referente a las Smart Cities, placas solares, contenedores o utilizar el interior de los edificios.



Fig. 3.8.1 Valla publicitaria con pantalla programable

Se pensó en incorporar varias ideas para esconder cada Arduino, pero junto al cliente se decidió solo implementar la idea de los contenedores, ya que son más fáciles de diseñar/fabricar en cortadora láser y se necesitaba una solución rápida. Además de que de vez en cuando hay que hacer algún cambio de conexión en los Arduinos y Raspberries y tener una facilidad de acceso a ellos es favorable.

La idea es que cada contenedor represente un tipo de residuo para promover el reciclaje y se pueda simular su movimiento.

El primer diseño consiste en una caja con una tapa (pieza verde en la Fig.3.8.2) que se puede levantar a través de un mecanismo de palanca (pieza roja) manualmente.

El espacio interior es suficiente para tener dentro un Arduino, una Raspberry Pi y sus correspondientes cableados sin problema y tiene un agujero rectangular en la parte inferior delantera para comunicar el cableado con las aceras hacia los demás elementos del TestBed.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

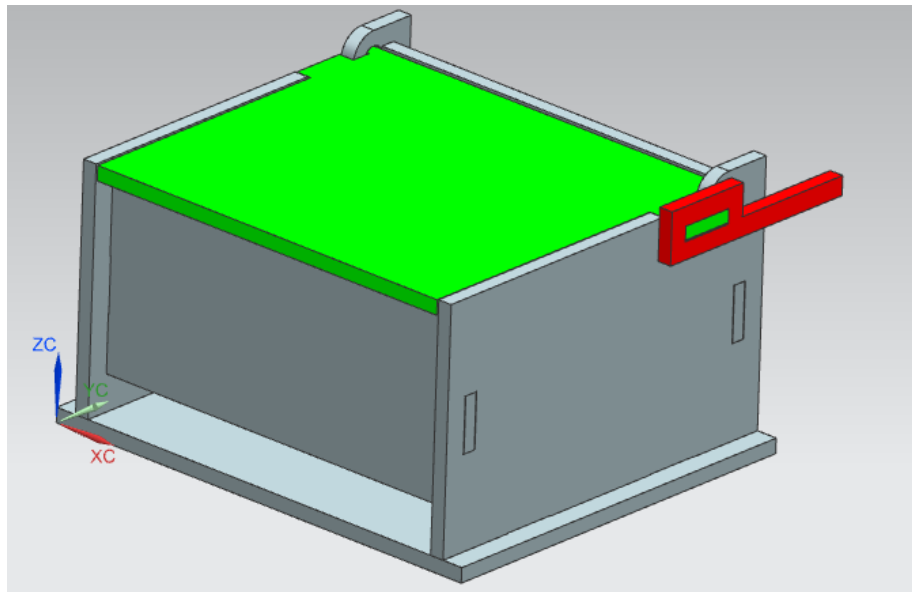


Fig. 3.8.2 Primer diseño de contenedores del TestBed

Se empezó a realizar el prototipo para asegurar el correcto funcionamiento del mecanismo y de la caja en sí antes de seguir con diseños estéticos.

3.8.3 PROTOTIPO



Fig. 3.8.3 Primer prototipo del contenedor

PROS	El mecanismo funciona bien
	La idea le agradó al cliente
	Suficiente espacio para 1 elemento
CONTRAS	Muy “cuadrado”
	Debido a la curvatura del cable serial, no hay espacio suficiente para colocar un Arduino y una Raspberry con su respectiva conexión

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

ACCIONES	Conservar cotas del mecanismo
	Pintar
	Diseñar la parte estética
	Hacer un segundo modelo más grande para Arduino+Raspberry

Fig. 3.8.4 Tabla de pros, contras y acciones

3.8.4 PRODUCTO FINAL

Consiste en 2 modelos de caja (4 grandes y 1 pequeña) que se pueden abrir y cerrar manualmente a través de un mecanismo de palanca con la función principal de esconder Arduinos y Raspberries y sus respectivos cableados en el TestBed. Está diseñada de tal forma que representa un contenedor de reciclaje de basura en una ciudad.

Ambos modelos constan de 7 piezas de madera fabricadas en cortadora láser que se unen entre ellas por medio de pestañas que encajan a presión exceptuando la tapa. La tapa reposa sobre la caja y puede girar gracias a un eje de revolución marcado en la Fig. 3.8.5. También posee un agujero rectangular en la parte inferior que permite el paso de cables con las aceras como se puede observar en la Fig. 3.8.7.

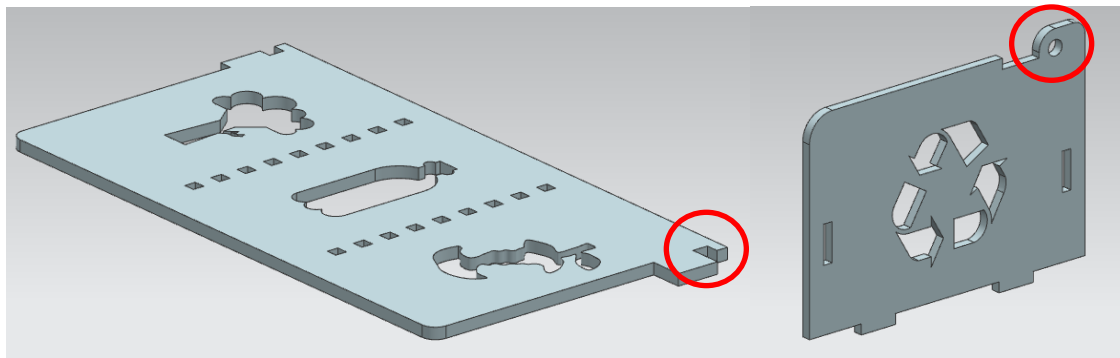


Fig. 3.8.5 Tapa y pared del modelo 1 del contenedor en NX, a la izquierda y derecha respectivamente. Indicando el mecanismo de giro.

La función principal del modelo 1 es esconder Arduinos y una Raspberry con su respectivo cableado en su interior. Este modelo es más grande debido a la curvatura del cable Serial que se puede apreciar en la Fig. 3.8.6, y por lo tanto más visible en el TestBed. Tiene un tamaño de (220x120x85) mm³.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

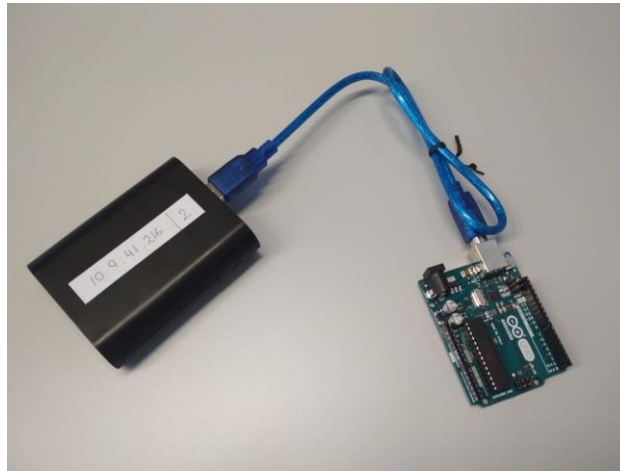


Fig. 3.8.6 Arduino y Raspberry conectados mediante el cable Serial.

Debido a su tamaño alargado, se ha decidido diseñar este modelo en un contenedor para 3 tipos de reciclaje: papel y cartón, plástico y orgánico. Cada uno indicado con una figura: un árbol, una botella de plástico y restos de una manzana siguiendo el mismo orden. Luego se pintará manualmente cada parte con su respectivo color de reciclaje: azul para papel y cartón, amarillo para el plástico y marrón para orgánico.

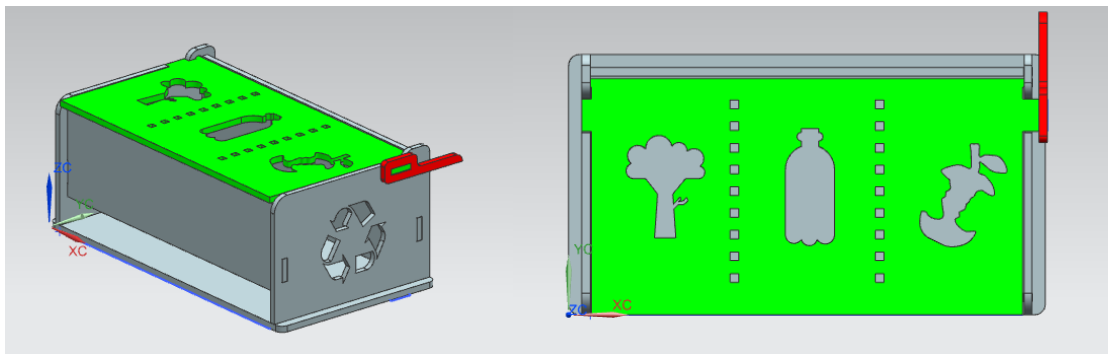


Fig. 3.8.7 Modelo 1 del contenedor en NX. En verde la tapa y en rojo la palanca

El modelo 2 consiste en una caja más pequeña ($130 \times 110 \times 70 \text{ mm}^3$) ya que su función principal es esconder 1 solo Arduino y se ha aprovechado el primer prototipo. Solo representa el reciclaje de plástico y por lo tanto se pintará en amarillo.

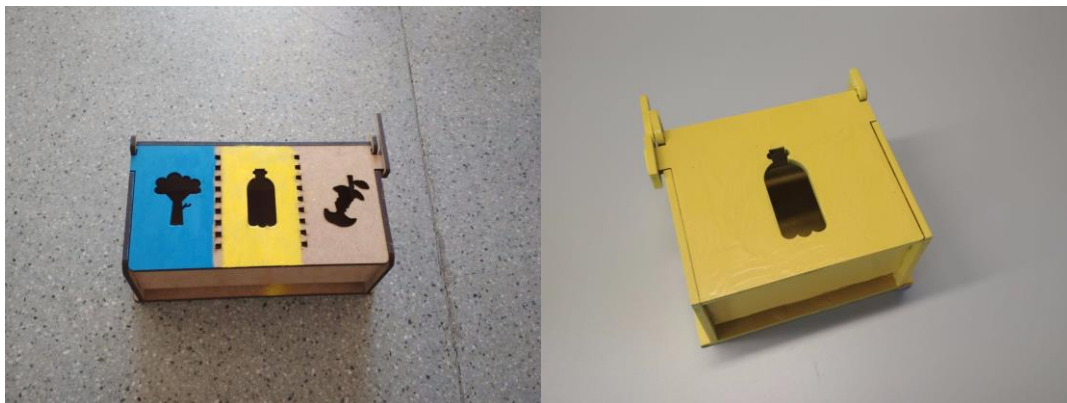


Fig. 3.8.8 Modelo 1 y 2 de los contenedores

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.9 PUENTE LEVADIZO

El puente está hecho de madera. Se ha diseñado en 3D con el programa Siemens NX y a partir de ese modelo se han cortado las diferentes partes a ensamblar con una cortadora láser. La función del puente es comunicar los dos lados del TestBed y al mismo tiempo permitir que los vehículos pasen por debajo.

3.9.1 OBJETIVOS

- Cumplir con las dimensiones del TestBed
- Poder levantarse a través de un sistema electrónico que pueda ser controlado por Arduino.
- Tener elementos de protección para los coches en caso de mal funcionamiento por parte de coches ya que estos tienen un coste elevado
- Económico

3.9.2 IDEA ESCOGIDA Y DISEÑO

Antes de ponernos a diseñar nuestro puente, vamos a decidir qué tipo de puente vamos a implementar y para eso vamos a ver tres tipos diferentes de puentes y sus características.

Tipos de puente levadizo e idea escogida

- **Puente basculante.** Tipo de puente móvil que se construye sobre canales navegables a fin de facilitar el paso de embarcaciones por debajo sin necesidad de elevar la traza de la carretera. Están compuestos por 1 o 2 secciones que se abren en dirección perpendicular al plano del puente con la ayuda de contrapesos situados bajo la plataforma.

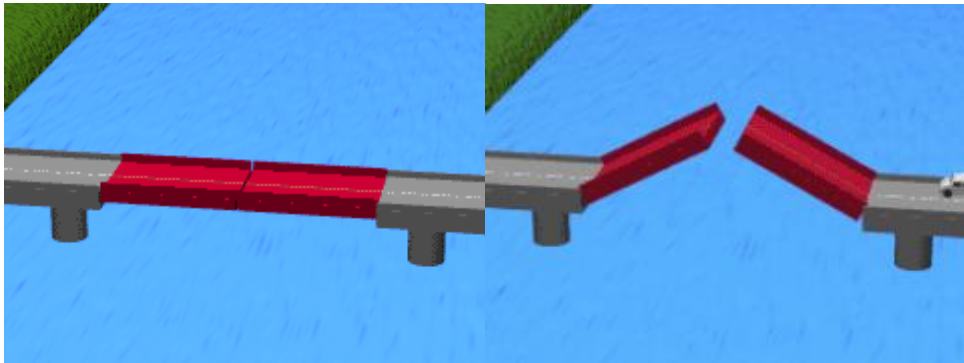


Fig. 3.9.1 Esquema de funcionamiento de un puente basculante

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.9.2 Ejemplo de puente basculante. Chicago River Bridge

- **Puente de mesa.** Puente móvil en el que se mueve el tablero verticalmente mediante la acción de pilares hidráulicos situados bajo el puente que elevan la calzada para permitir el tráfico de barcos que pasan bajo él.

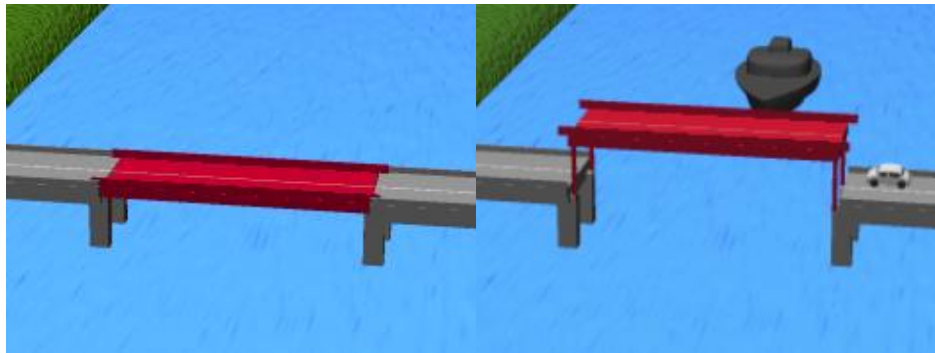


Fig. 3.9.3 Esquema de funcionamiento de un puente de mesa



Fig. 3.9.4 Ejemplo de puente de mesa. Puente de Notre Dame

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

- **Puente de levante o puente de elevación vertical.** La plataforma se eleva de forma vertical y paralela a su posición original gracias a unas torres con unos raíles que lo levantan.

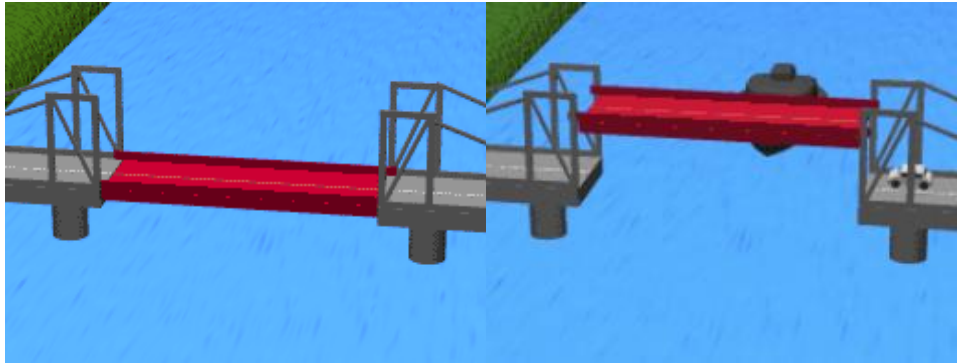


Fig. 3.9.5 Esquema de funcionamiento de un puente de levante



Fig. 3.9.6 Ejemplo de puente de levante. Tower bridge de Londres

Las dos alternativas que estudiamos fueron la del puente de levante y la del puente basculante, y buscamos la mejor manera de adaptarlo a nuestro TestBed.

Para el **puente de levante** encontramos el mecanismo de elevación mediante husillos.

- **Elevación mediante husillos**

Se trata de elevar la plataforma completamente vertical como en un puente de levante gracias a unos husillos que se ubicarían en el interior de las torres y la pista se atornillaría a las roscas que se observan en la siguiente imagen.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

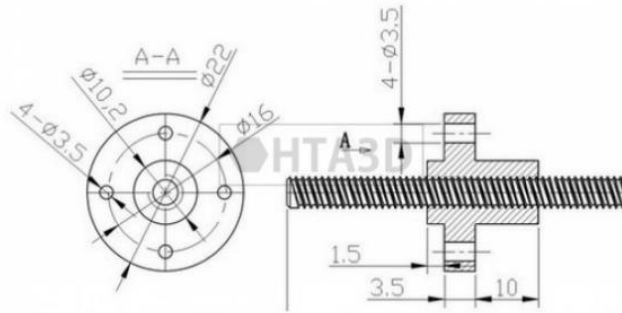


Fig. 3.9.7 Esquema de un husillo

El funcionamiento variará en función de los motores que usemos, pero en cualquier caso los 4 husillos tendrán que girar, no pueden hacer solo de guía.

La correa se podría unir a los husillos mediante engranaje o polea en el eje del motor y husillo o mecanizando el husillo.

Para conocer la posición angular del eje motor y saber cuánto ha girado se puede utilizar un *encoder*.

Y para el **punto basculante** surgió una opción más sencilla:

- **Elevación mediante poleas**

Nuestro mecanismo escogido para la elevación del puente basculante se basa en un motor-reductor conectado a una cuerda de polipropileno que pasando por una polea atornillada en la parte interior de una de las torres del puente llega a conectarse a un agujero situado en un saliente de la placa elevadiza y lo eleva con la ayuda de un contrapeso situado dentro de la otra torre; este contrapeso va conectado también con una cuerda de polipropileno que, pasando por otra polea, también se conecta a un gancho en el saliente del otro lado de la placa elevadiza.

El motor se controla mediante Arduino y es necesario un “bridge” (en nuestro caso el L298N) para que haga de puente entre motor y Arduino.

Aunque el método de elevación mediante husillos sea más interesante desde un punto de vista mecánico, hemos desestimado su uso debido a que tiene un coste mucho mayor y su implementación es mucho más compleja; así al final decidimos implementar un puente basculante en nuestro TestBed.

Cálculos

Una vez escogido el sistema de elevación, es necesario hacer una serie de cálculos para saber por ejemplo, la longitud de la cuerda a usar en la polea o el peso máximo del coche que pasara sobre el puente para que no haga girar la parte móvil.

Con un esquema de funcionamiento de la polea (Fig. 3.9.8), se deduce que, por cada vuelta del eje, la cuerda subirá o bajará el equivalente al perímetro del eje.

Aplicando la trigonometría se obtiene la longitud de la cuerda necesaria en función de la altura del puente:

$$L_{\text{cuerda}} = \frac{h}{\tan \alpha} + h + 190$$

Para valores de $h = 500$ mm y un ángulo de 45° , la longitud de la cuerda resulta en 1190

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

mm, con este cálculo hay que tener en cuenta que sería la longitud mínima debido a que es necesario una parte de cuerda enrollada en el eje.

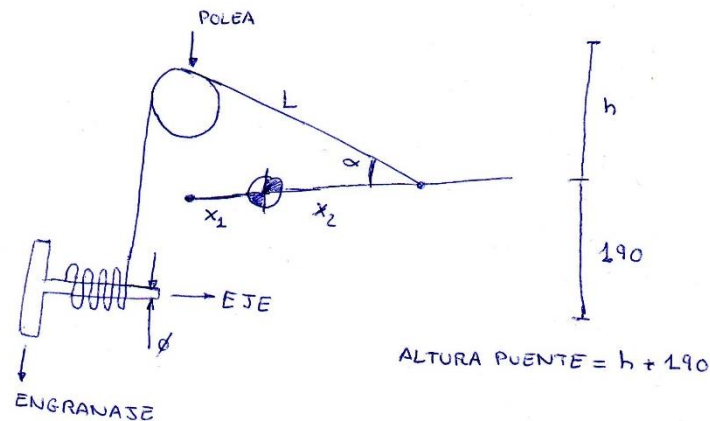


Fig. 3.9.8 Esquema funcionamiento de la polea

La parte móvil del puente está montada sobre un eje que le permite hacer el movimiento oscilante.

Para saber el peso máximo que puede soportar y que la pista no gire debido al peso del coche se ha hecho un diagrama de fuerzas (Fig. 3.9.9) que actúan sobre esta parte y con un sumatorio de momento se obtiene que, para $x_1 = 100$ mm y para un $mg = 10$ N (se desprecia el peso de la pista), el coche debe pesar menos de 9 kg.

Con este dato se concluye que para nuestro caso no podrá girar debido al peso del coche ya que en el cálculo se ha despreciado el peso de la pista, por lo tanto, el peso será mayor y los coches que se utilizaran tienen un peso aproximado de 0,5 kg.

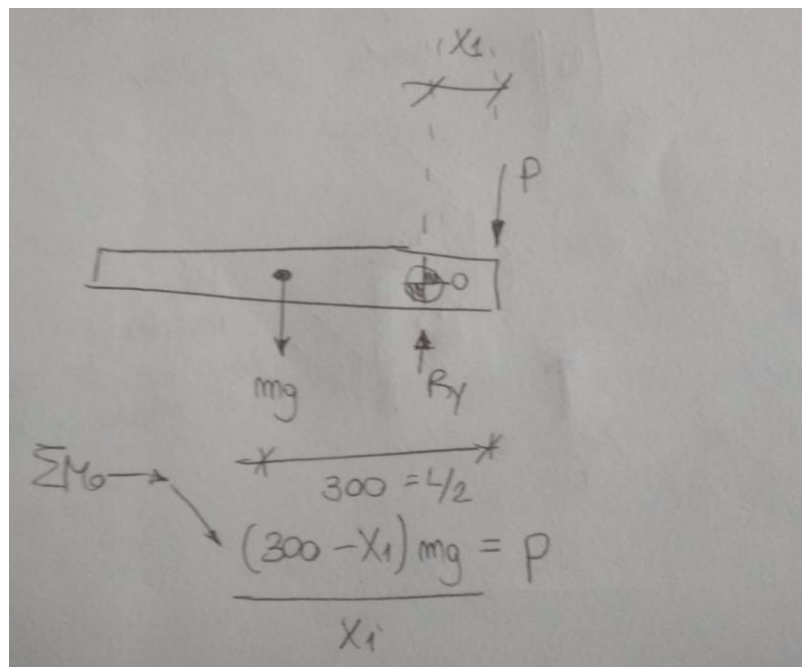


Fig. 3.9.9 Diagrama de fuerzas de la parte móvil

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Diseño en 3D de todas las partes del puente

Después de elegir implementar un puente basculante, procedemos a exponer el diseño de todas sus partes.

Torres:

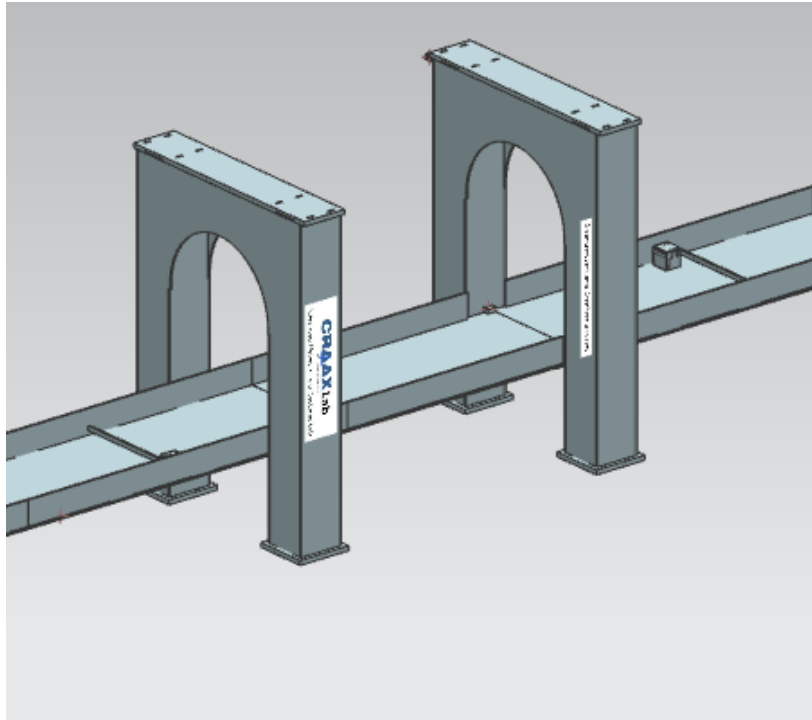


Fig. 3.9.9 Diseño de las torres del puente

Rampas:

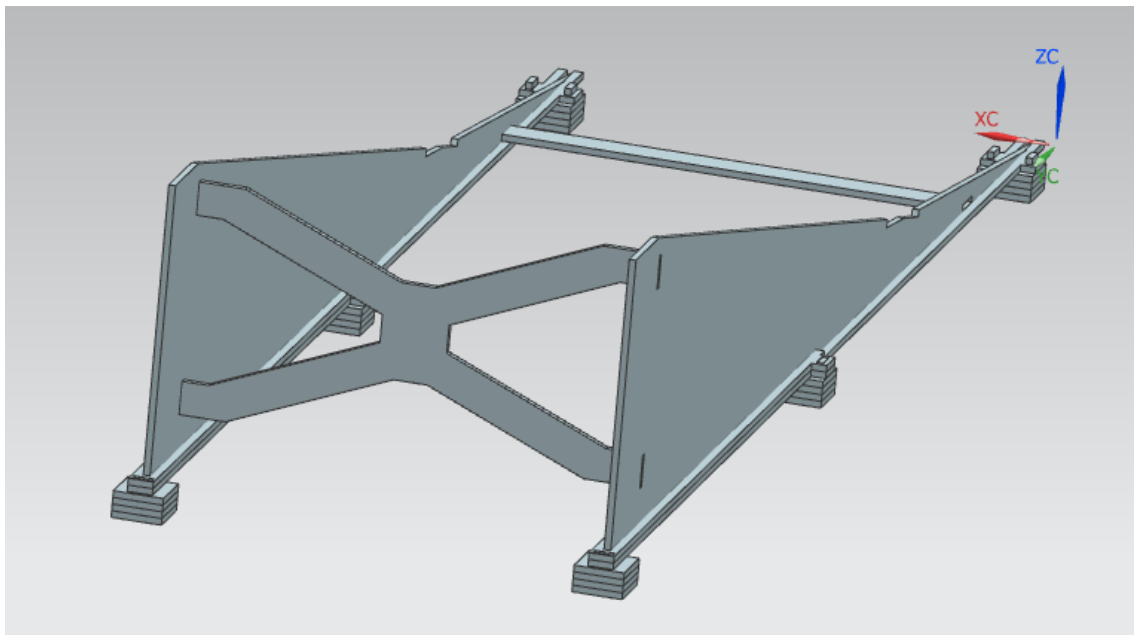


Fig. 3.9.10 Diseño en X de las rampas del puente

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Soportes de las rampas:

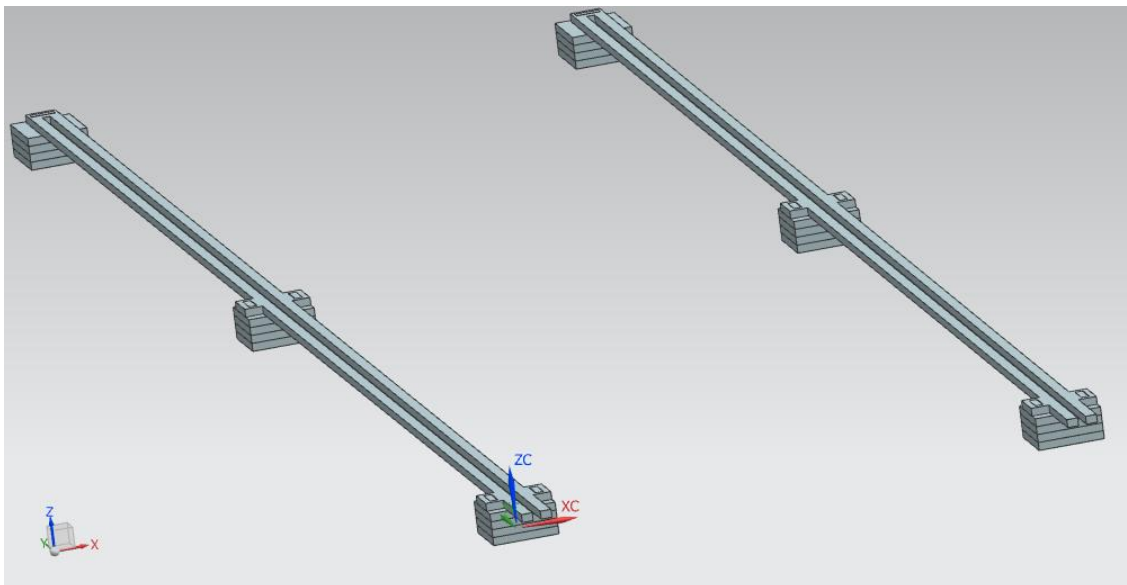


Fig. 3.9.11 Diseño de los soportes en forma de raíl de las rampas

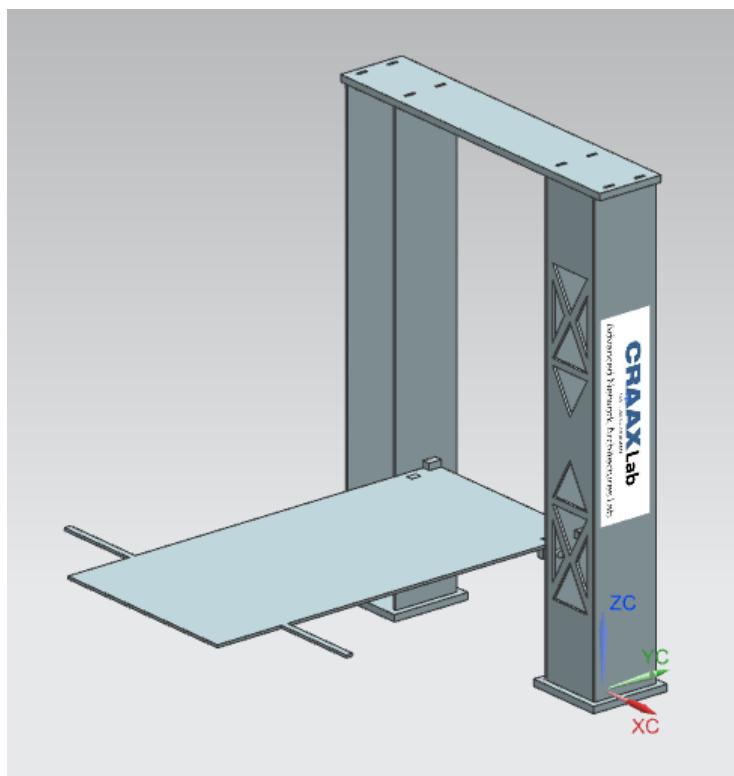


Fig. 3.9.12 Diseño del sistema de elevación

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Elementos de protección

Debido a que el coche incorpora varios elementos electrónicos, un golpe derivado de una caída de una cierta altura como puede ser la del puente puede dañar dichos componentes, es por ello por lo que era necesario la instalación de barreras por si llegase a fallar el sistema de guiado del vehículo.

- **Barrera lateral:**

A los laterales de las pistas del puente hemos colocado barreras unidas a las pistas mediante pestañas, tienen la función de evitar que el coche caiga y de mejorar la estructura del puente.

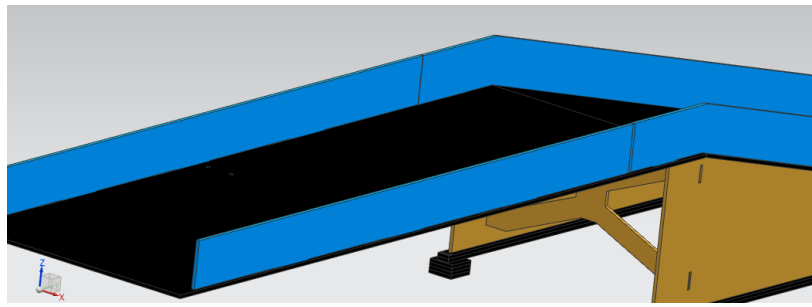


Fig. 3.9.13 Barreras laterales del puente

- **Barrera de protección:** Antes de la placa elevadiza del puente hemos situado dos barreras de protección para evitar que cualquier problema con los coches pudiese causar una caída de estos del puente.

El mecanismo de la barrera se basa en una barra de madera unida mediante tornillos al eje de un servomotor SG90. Este motor se ubica dentro de una caja diseñada con SIEMENS NX, la cual es anclada a la pista de madera mediante 2 tornillos. El motor es controlado mediante Arduino.

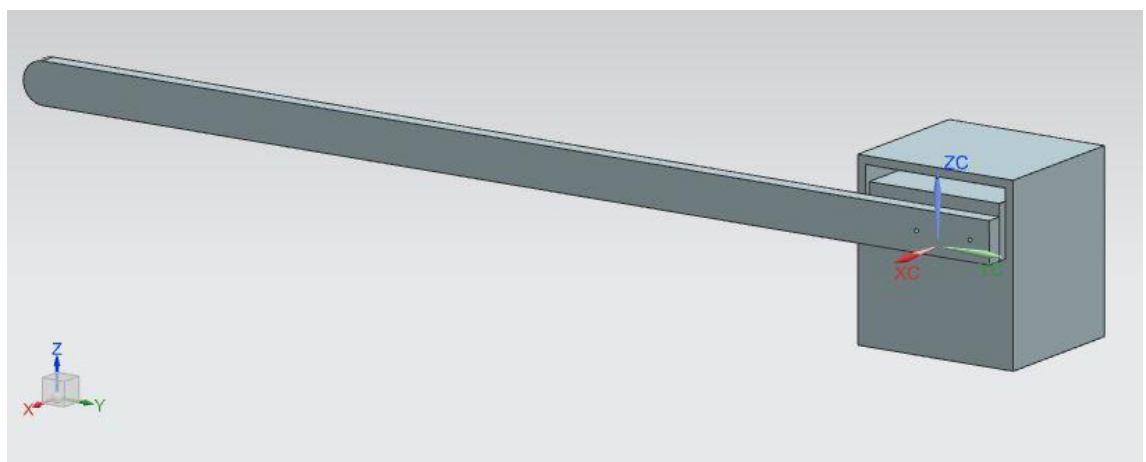


Fig. 3.9.14 Diseño 3D de la barrera

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

- Caja de la barrera:

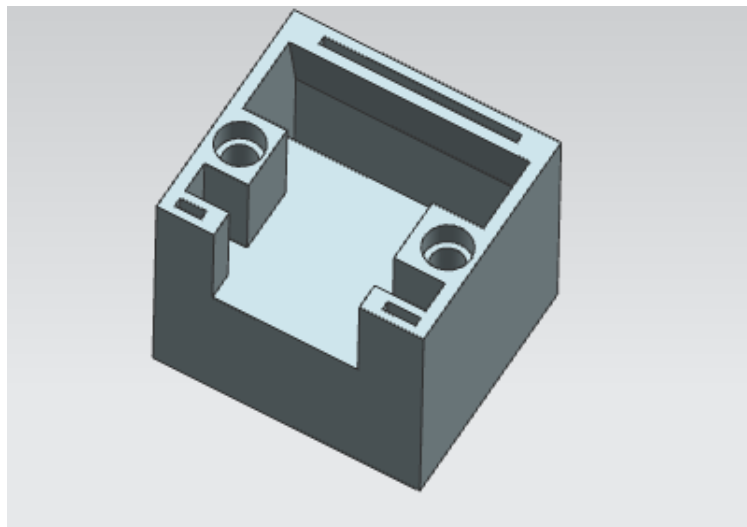


Fig. 3.9.15 Diseño de la caja de la barrera

Diseño completo:

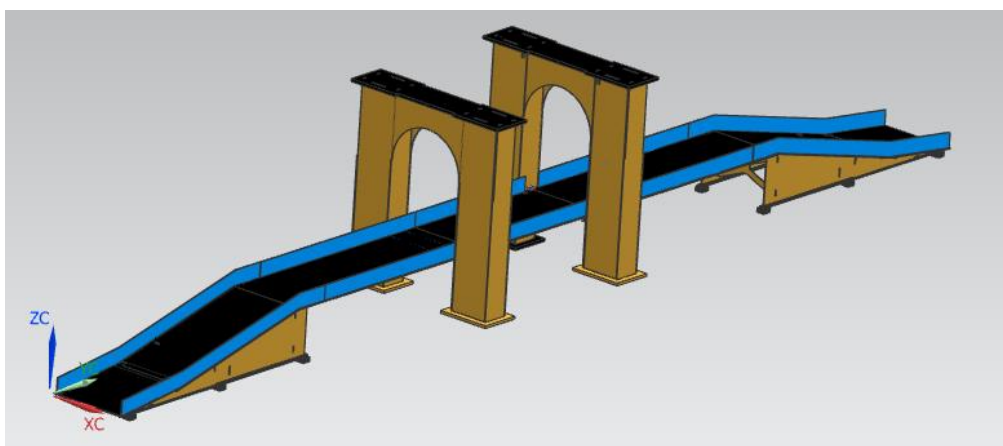


Fig. 3.9.16 Diseño entero del puente en 3D

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.9.3 PRODUCTO FINAL

Después de diseñar, fabricar, pintar y ensamblar las diferentes partes del puente, mostramos cada una de ellas terminada, así como diferentes figuras para visualizar el puente finalizado.

En la siguiente figura podemos ver la unión de las pistas con el puente mediante una rampa.

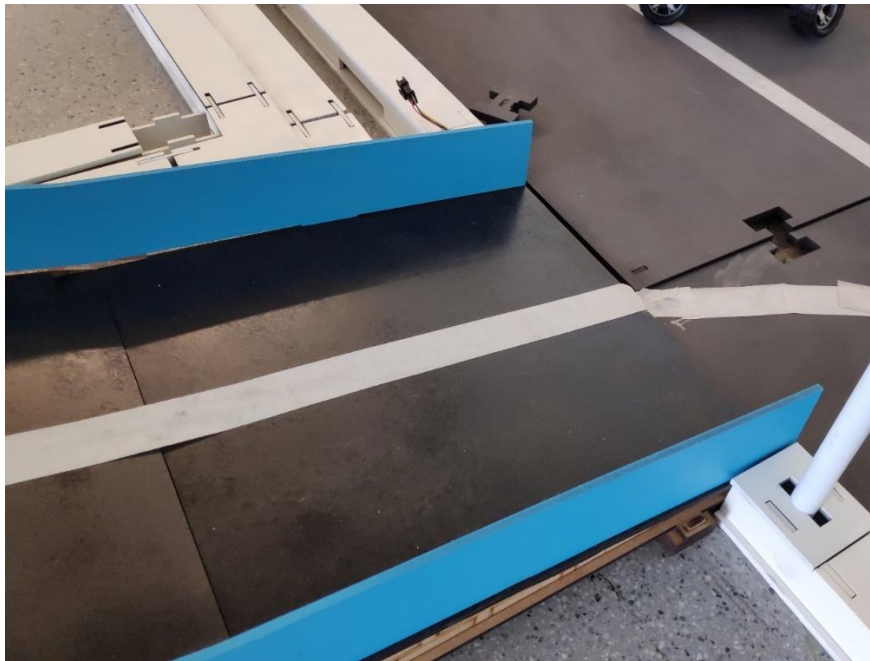


Fig. 3.9.17 Unión de las pistas con el puente

Vemos también una vista lateral de la rampa donde se observa la inscripción CRAAX realizada con pintura. Las paredes de la rampa están diseñadas con una inscripción simulando ladrillos realizada con la cortadora láser.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.9.18 Vista lateral de la rampa

A continuación de la rampa le sigue una recta dónde va ubicada la barrera levadiza de protección.



Fig. 3.9.19 Recta a continuación de la rampa

Podemos observar una vista más detallada de esta barrera levadiza.



Fig. 3.9.20 Barrera levadiza del puente

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Haciendo zoom observamos la caja en detalle y vemos el servomotor SG-90 unido a la barrera.

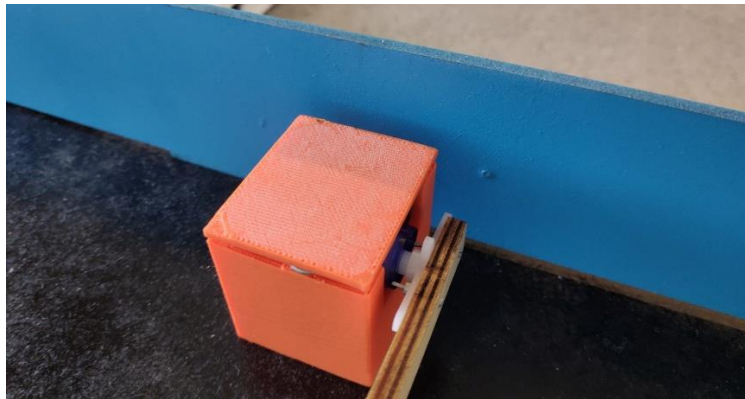


Fig. 3.9.21 Vista en detalle de la caja de la barrera levadiza

Para hacernos una idea del conjunto de la rampa unida a la recta, veremos una figura del lateral del puente.



Fig. 3.9.22 Conjunto rampa-recta

Pasamos ahora a ver la zona central del puente con su sección levadiza.



Fig. 3.9.23 Arcos centrales del puente

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.9.24 Sección central levadiza del puente

A continuación, veremos el interior de ambas torres con su mecanismo de poleas, motor, contrapeso y finales de carrera.



Fig. 3.9.25 Polea de la torre del motor

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

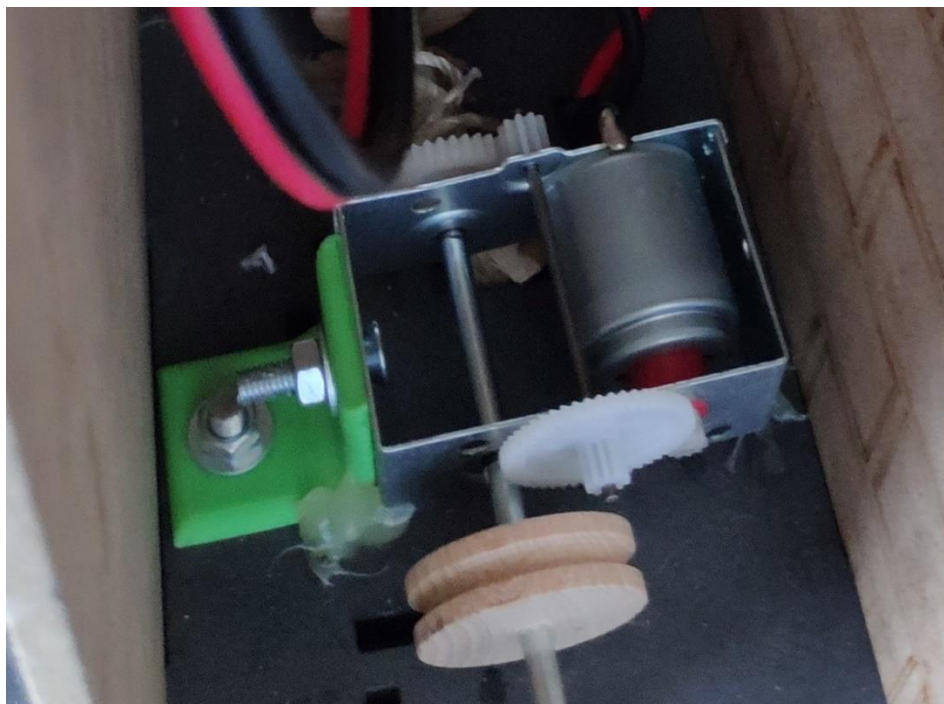


Fig. 3.9.26 Motor con su anclaje (pieza verde)

Por último, vemos el interior de la otra torre, con el sistema de contrapeso y finales de carrera y el eje de la parte levadiza del puente.

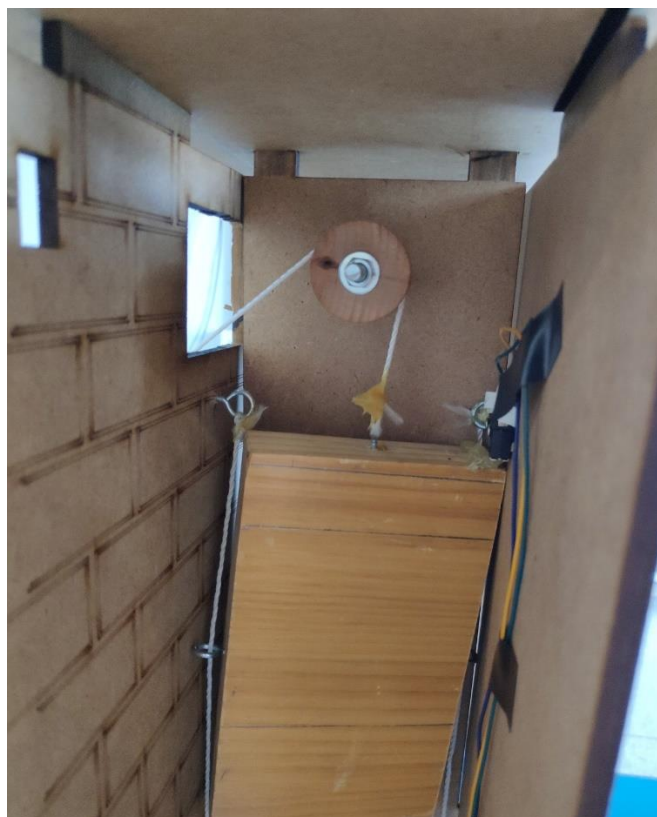


Fig. 3.9.27 Sistema de contrapeso con finales de carrera

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.9.28 Eje de la parte levadiza

Vista de conjunto del puente:

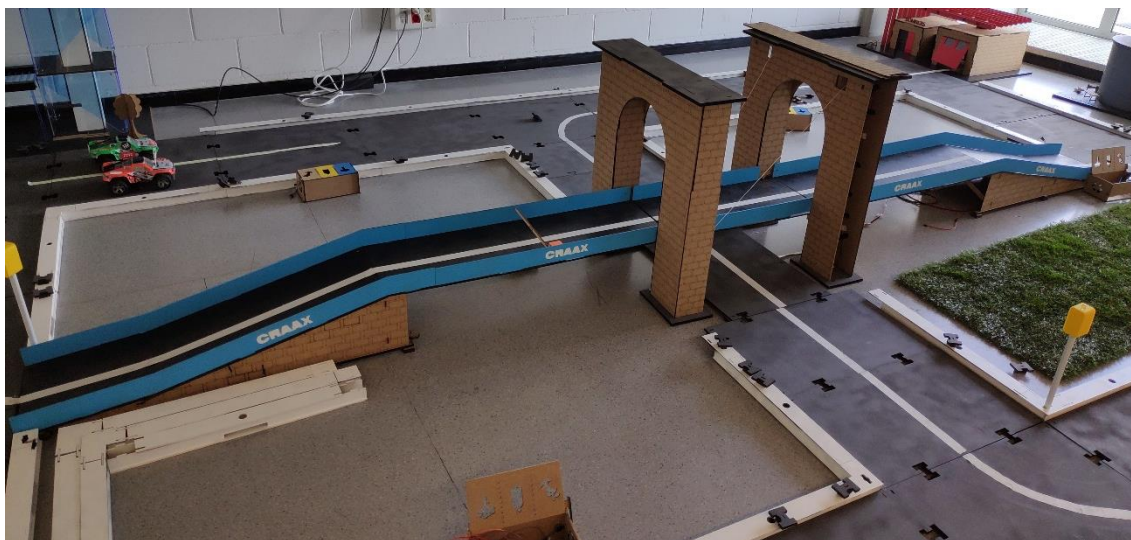


Fig. 3.9.29 Puente levadizo del TestBed

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.10 FAROLAS

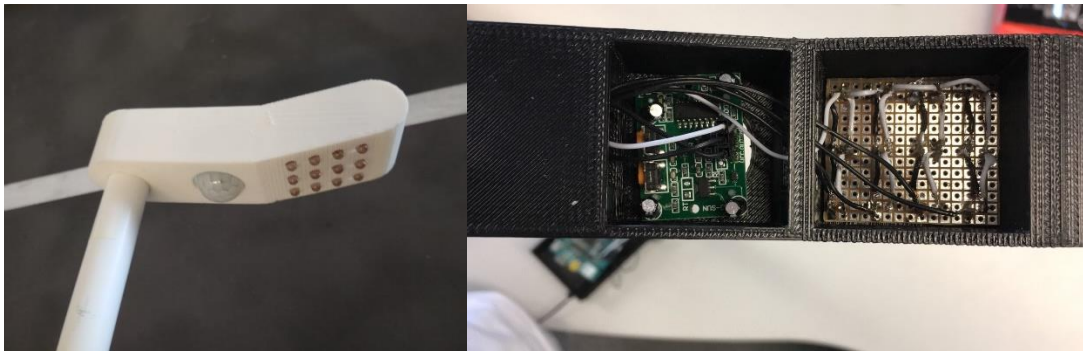
3.10.1 PRODUCTO PREVIO

Son elementos inteligentes del TestBed que se encargan de iluminar las calles solamente cuando hay coches presentes.

Inicialmente el cliente ya tenía 5 farolas que habían sido diseñadas y fabricadas por un grupo de estudiantes en un trabajo previo.

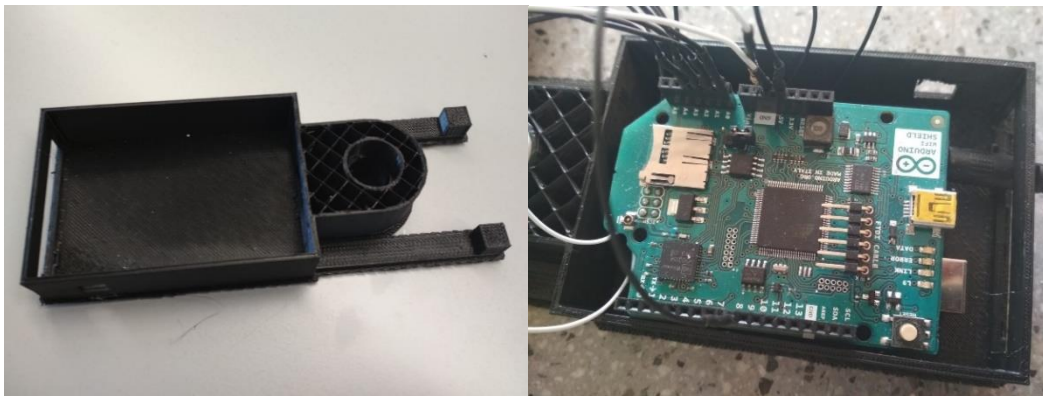
Constaban de 3 partes:

- **Mástil:** Es un palo de PVC que sirve para que la farola tenga altura y por dentro pasan los cables.
- **Cabeza:** Es una pieza hecha con impresión 3D donde tiene situado 12 LEDs encarados a la carretera. También tiene un pequeño sensor de presencia para detectar el coche cuando pase por debajo, enviando una señal al Arduino colocado en la base para que este pueda controlar la iluminación, controlando la intensidad mediante la cantidad de LEDs que se encienden



3.10.1 Cabeza de farola. A la izquierda se pueden ver los LEDs y el sensor de presencia y a la derecha su respectivo cableado

- **Base:** Tiene un agujero para encajar el tubo de la farola y un espacio para colocar un Arduino con una respectiva placa SHIELD que le permite comunicarse con los demás Arduinos mediante WiFi, además de patas que se colocan por debajo de las pistas para poder mantener el conjunto en pie.



3.10.2 Base de farola. A la izquierda se puede ver el agujero para encajar el tubo y las patas de la base, y a la derecha un Arduino+SHIELD implementado

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Nosotros hemos decidido hacer algunos pequeños cambios para mejorar las farolas anteriores en nuestro TestBed siguiendo las siguientes pautas:

3.10.2 OBJETIVOS

- Siguiendo la misma premisa del proyecto global, eliminar la visibilidad actual de los cables y elementos electrónicos.
- Como nuestro cliente planea en un futuro implementar más farolas (30-40 aproximadamente), rediseñar la farola para reducir costes en un futuro.
- Implementar las 5 farolas en nuestro TestBed.

3.10.3 CAMBIOS Y PRODUCTO FINAL

Hemos tomado tres medidas para reducir los costes de futuras implementaciones de farolas y ocultar el cableado:

1. Utilizar un Arduino por cada 5 farolas sin el uso de placas SHIELD:

Hemos realizado un cambio en la conexión de las farolas para solo utilizar 2 pines del Arduino por cada farola más un pin neutro en común. De este modo solo necesitaremos 10 salidas digitales, recordamos que el Arduino UNO tiene 13 pines digitales, de los cuales solo 11 son programables.

Hemos decidido dejar el sensor de presencia como elemento estético, ya que es muy económico y la cabeza ya tiene un espacio diseñado para colocarlo pero ya no tienen ninguna funcionalidad en el control de iluminación de las farolas.

Su programación ahora se basa en encenderse cada vez que las Raspberries del TestBed envíen una orden al Arduino, ya que estas son capaces de saber la ubicación de los coches gracias a la implementación de la tecnología RFID explicada en el apartado 3.2.

De esta manera conservamos la misma funcionalidad y nos ahorramos el uso de 4 Arduinos y 5 placas WiFi Shield.

2. Utilizar las aceras como base

Al solo necesitar un Arduino para las 5 farolas implementadas, este lo ubicaremos en uno de los contenedores del TestBed explicados en el apartado 3.8 de este documento, por lo que solo se necesita un nuevo método para anclar el tubo de la farola en el TestBed y así poder prescindir de la base anterior, la cual podría suponer un coste elevado en un futuro, ya que es relativamente grande y está impresa en 3D, y tampoco cumplía con el objetivo de esconder los cables y Arduinos como se puede apreciar en la Fig. 3.10.2.

Aprovechando la misma idea del semáforo, hemos decidido hacer un agujero en cada acera para poder encajar las farolas rápidamente actualmente y en el futuro ahorrando así el coste de cada base y ocultando los cables.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3. Diseñar e implementar tapas para la cabeza de la farola

Y, por último, para cubrir las conexiones que se pueden ver en la Fig. 3.10.1, hemos implementado un par de tapas pequeñas en impresión 3D que se colocan en la parte superior de la cabeza y cubren completamente los agujeros restantes. Es un elemento que nos permite implementar las 5 farolas actuales, aunque supone un coste si se quieren implementar más farolas, pero es barato porque es pequeño y su impresión 3D es rápida, ya que no requiere el uso de soportes.



3.10.3 Tapas de cabeza de farola



3.10.4 Farola implementada en TestBed

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

3.11 EDIFICIOS

Los edificios de nuestro TestBed han sido diseñados y fabricados por el grupo de diseño industrial del EPS (European Project Semester) mediante el uso de la cortadora láser y la impresión 3D.

EDIFICIO NEÀPOLIS

El edificio Neàpolis se encuentra en la parte inferior derecha que representa el edificio donde se encuentra actualmente el laboratorio del CRAAX y donde se encuentra nuestro TestBed.

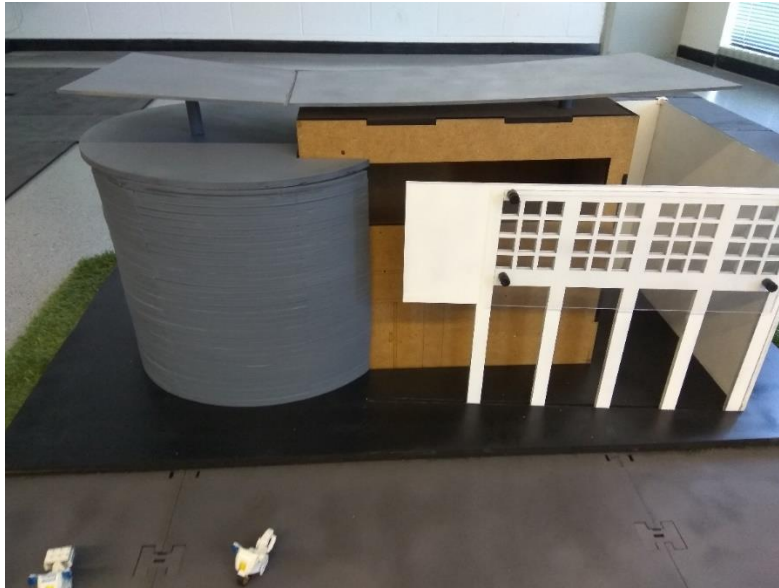


Fig. 3.11.1 Edificio Neàpolis

ESTACIÓN DE BOMBEROS

La estación de bomberos se encuentra en la parte exterior de la esquina superior derecha del TestBed y posee un mecanismo de apertura que permite la salida de un coche que simule un camión de bomberos de su interior.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 3.11.2 Estación de bomberos

HOSPITAL

El hospital está ubicado en la zona exterior de la esquina superior izquierda del TestBed. Tiene una barrera elevada con un servomotor para permitir que un coche simule una ambulancia.

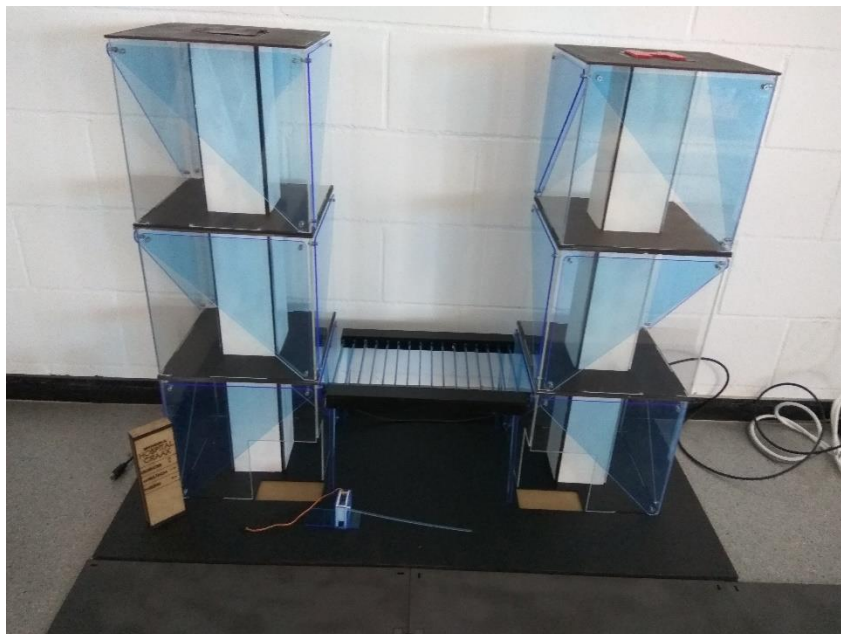


Fig. 3.11.3 Hospital

3.12 CABLES. TRANSFORMADORES. WIFI

Nuestro TestBed se basa en que todos los elementos que lo conforman puedan ser capaces de comunicarse entre sí para poder programar soluciones inteligentes. Es por ello que utilizamos cables Serie para comunicar y alimentar los Arduinos con Raspberries y WiFi para la comunicación entre Raspberries. Además de utilizar cables de cobre de 0,5mm para alimentar todos los LEDs y transformadores para alimentar las Raspberries y el driver del motor del puente.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

4. PROCESO DE PRODUCCIÓN

4.1 IMPRESIÓN 3D

Hemos usado la impresora 3D UP BOX de la empresa EntresD. Esta impresora puede usar como material de impresión ABS o PLA; en nuestro caso hemos usado ABS. Es capaz de imprimir con un grosor de la capa que va de los 0,10mm a los 0,40 mm con una precisión de $\pm 0.05\text{mm}$.



Fig. 4.1 Impresora UP BOX

A partir del diseño en 3D con Siemens NX de las diferentes partes del semáforo, se exportan los archivos en el formato .stl para usarlos en el programa UPStudio. Desde el programa podemos visualizar las piezas a imprimir en 3D, el tiempo de impresión, su peso y los soportes a realizar.

Es importante evitar la formación de soportes para reducir los tiempos de impresión y aumentar la calidad de la pieza, ya que a veces resulta muy complicado retirarlos o limarlos.

El diseño de la pieza y la posición de impresión son clave para reducir la formación de soportes. Para ello es importante evitar agujeros en dirección perpendicular a la base de impresión y utilizar ángulos mayores a 70 grados respecto a la base de impresión en nuestros diseños.

Otro aspecto importante es que esta impresora solo puede imprimir un grosor mínimo de 1mm, por lo que todas las paredes de una pieza deben ser de este grosor o más. Nosotros recomendamos utilizar al menos 2mm, ya que 1mm resulta bastante frágil y se puede ver a través de la pieza por los pequeños agujeros de la malla de impresión.

Cabe decir que el tamaño de la pieza es un factor importante en la calidad de la impresión, mientras más pequeña mejor. Es importante calentar la base hasta al menos 80 grados antes de imprimir para luego poder retirar los soportes fácilmente.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

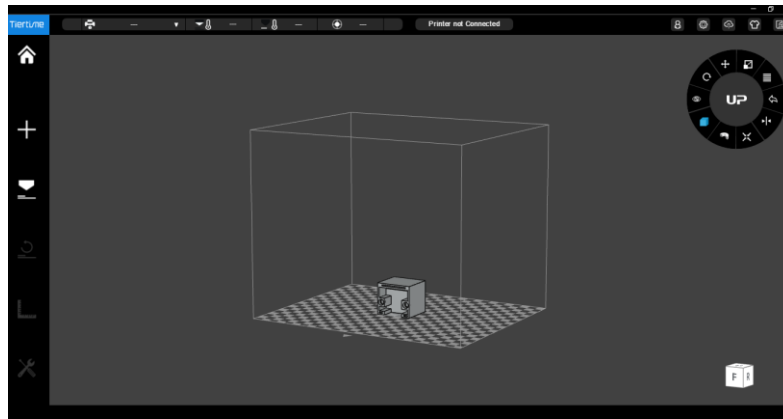


Fig. 4.2 Captura del software UPStudio

Una vez ya imprimida la pieza, se podrá observar que en la parte inferior se ha imprimido un soporte que también será necesario retirar con la ayuda de una espátula, por ejemplo.



Fig. 4.3 Pieza de semáforo recién impresa con soporte inferior

4.2 CORTADORA LÁSER Y TIPO DE MADERA USADA

Se ha utilizado la máquina láser de grabado y corte PC13/90 (Fig. 4.5) del laboratorio AL003 situado en la planta baja del Edificio A de la EPSEVG.

Esta máquina permite cortar cartón, madera y plásticos, pero para nuestro proyecto se ha utilizado solamente para madera.

El tipo de madera usado ha sido DM, un aglomerado elaborado con fibras aglutinadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media (DM) y es recomendable para construir todo tipo de estructuras (funcionales o artísticas) en los que el peso no suponga ningún problema. Son una base óptima para pintar. Excelente como tapas de mesas y bancos de trabajo.

Para poder cortar los diseños de las piezas realizados en NX, es necesario cambiar el formato a *.dxf* para que el software de la máquina los reconozca, el programa llamado Smart Carve trabaja en 2D y con él se puede ajustar la potencia y velocidad del láser entre otras cosas y también se pueden hacer diseños o modificar los que nosotros se han exportado anteriormente.

Para usar correctamente la maquina hace falta cumplir ciertos pasos:

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

- Abrir la válvula de aire del compresor
- Regular la altura del puntero láser respecto el material a cortar
- Calibrar la posición del punto respecto al origen de la máquina.
- Introducir valores de potencia y velocidad del láser según material: en el ordenador instalado en el laboratorio para controlar la cortadora láser, hay un archivo con varios valores para materiales determinados, pero como no existen los valores para el grosor de nuestros materiales fue necesaria una extrapolación lineal y ajustar los valores para obtener un corte que permitiera que las piezas se corten adecuadamente (Fig. 4.4).

Material	Max potencia (%)	Min potencia (%)	Velocidad de corte (mm/s)
DM 7 mm	95	95	6
DM 4 mm	83	83	19

Fig. 4.4 Valores a introducir para los materiales utilizados



Fig. 4.5 Cortadora láser PC 13/90

Otro aspecto que destacar a la hora de utilizar la láser, es el uso del programa Draftsight (Fig. 4.6) que, es muy útil, ya que permite ahorrar mucha cantidad de material. Este software permite colocar varios diseños en un espacio igual a la medida de la lámina de madera que se cortará.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

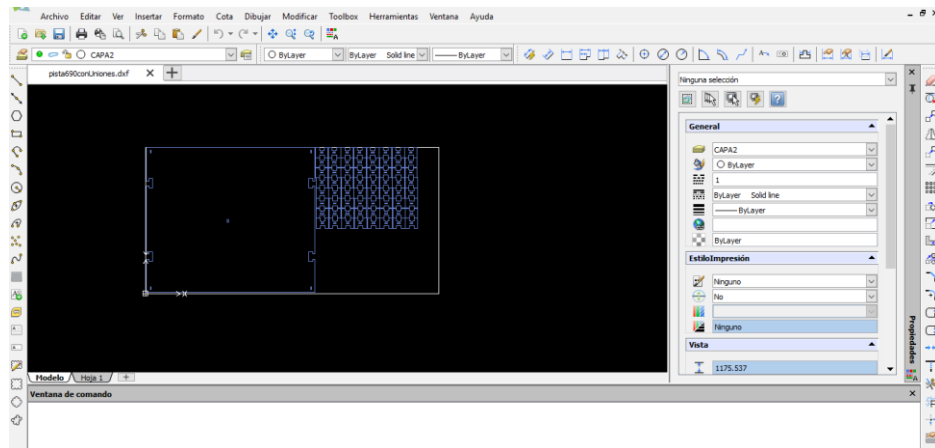


Fig. 4.6 Entorno software Draftsight

4.3 FABRICACIÓN DE LAS PLACAS PCB

Para la fabricación de las placas PCB, se ha usado el programa llamado Altium (Fig. 4.7). Es un programa que sirve para el diseño electrónico de circuitos impresos, implementación de FPGA, o desarrollo de código para microprocesadores.

Se ha utilizado para diseñar las placas PCB de los semáforos. Es un circuito muy simple donde son 4 LEDs en su respectiva posición en el semáforo menos el azul que va de pie.

Hay también un espacio donde se pueden soldar las resistencias, consiguiendo así mayor rendimiento en la placa. En el medio hay el hueco de 5 agujeros juntos, que es donde va el conector para poder sacar los cables de una sola vez y no teniendo que sacarlos uno por uno.

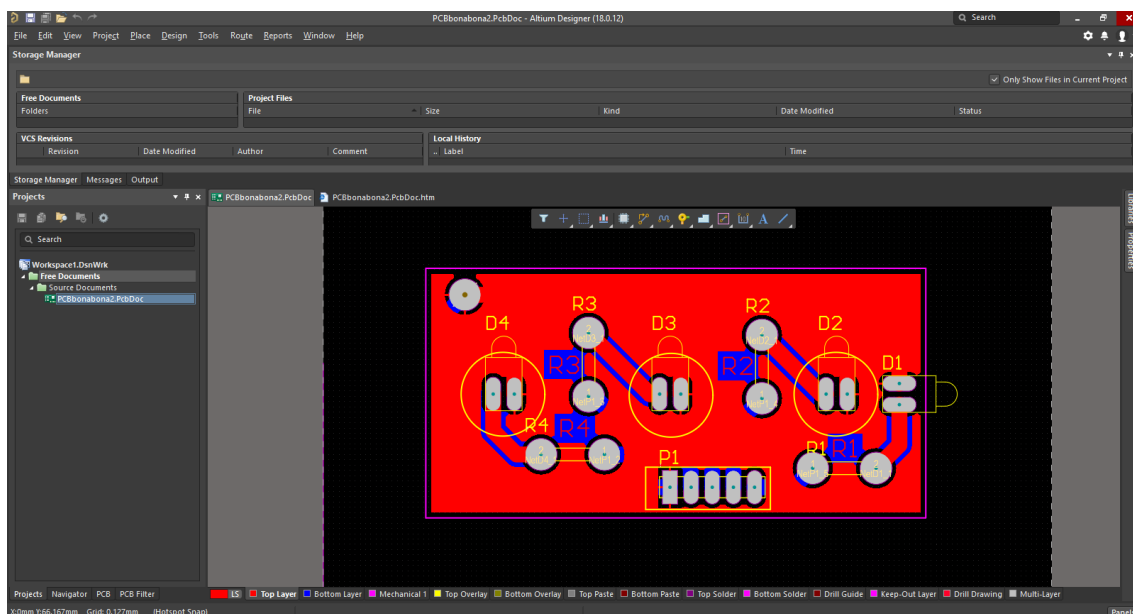


Fig. 4.7 Captura del programa Altium con el diseño de la placa PCB

4.4 PINTADO, LIJADO, SOLDADURA Y MONTAJE

Para finalizar el proceso de producción se han llevado a cabo tareas manuales de acabado.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

Para pintar los diferentes elementos usamos pintura en spray de diferentes colores dependiendo de las peticiones del cliente. Cabe destacar la fabricación de un molde para pintar las letras CRAAX en blanco en las barreras del puente.

El proceso de lijado se ha llevado a cabo en los diferentes elementos que necesitaban ir firmemente apretados y se diseñaron con la medida exacta; especialmente los pasadores de los soportes de las pistas.

Para soldar cada una de las placas PCB se ha usado el soldador del laboratorio de electrónica de la EPSEVG y estaño como material de aportación, proporcionado por STL. El proceso de soldadura se ha realizado con dos miembros del equipo para que fuese un trabajo en cadena y darle agilidad al proceso.

Finalmente, se han ensamblado los semáforos, pistas, aceras y los diferentes elementos que componen el puente para dejar el TestBed completamente implementado.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

5. TESTS DEL CONJUNTO DEL TESTBED

En este apartado nos proponemos a explicar las diferentes pruebas que hemos hecho con cada uno de los elementos, finalizando con una prueba global del TestBed en conjunto.

5.1 TESTS DEL SISTEMA RFID

En este apartado se explicarán todas las pruebas llevadas a cabo para garantizar el funcionamiento del sistema RFID paso por paso.

5.1.1 TEST DE LECTURA RFID CON ARDUINO

Los objetivos de este test son:

- Verificar la correcta programación del Arduino y la lectura de los IDs de los TAGs por el monitor.
- Verificar que la conexión es correcta.
- Verificar el rango de lectura de los TAGs por parte del lector y su capacidad para leer a través de la madera de las pistas para ver si es posible implementar la tecnología RFID como mecanismo de ubicación de coches en nuestro TestBed.

Para poder realizar esta prueba, previamente se conecta el lector RFID a un Arduino [13] siguiendo el esquema de la Fig. 3.2.2 mediante una Protoboard y el Arduino al PC, previamente programado. La programación de este se explica con detalle en el Anexo B.1.

A continuación, pasamos una etiqueta por dentro del rango de detección del lector para verificarlo y comprobamos que su ID aparezca en el serial del software Arduino (Fig. 5.1).

```
Bienvenido al Sistema Lector de Tarjetas RFID
Por Favor Acerca tu Tarjeta al Lector

E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 227 134 166 137
E1 ID de tu tarjeta es: 227 134 166 137
E1 ID de tu tarjeta es: 227 134 166 137
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 227 134 166 137
E1 ID de tu tarjeta es: 227 134 166 137
E1 ID de tu tarjeta es: 227 134 166 137
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 227 134 166 137
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41
E1 ID de tu tarjeta es: 192 219 144 185
```

Fig. 5.1 Captura de pantalla del monitor Serie del software Arduino IDE con la lectura de IDs de los

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

TAGs

Se ha comprobado el correcto funcionamiento del sistema. La lectura de una tarjeta se realiza una única vez aunque se mantenga en rango de lectura y se comprueba que el rango de lectura es de entre 0 y 60 milímetros entre TAG y lector. Sin importar que se coloque un elemento de madera en medio, el rango de lectura sigue siendo el mismo. En nuestro caso la distancia será menos a 30 milímetros por lo que no hay ningún problema.

5.1.2 TEST DE CONEXIÓN ARDUINO-RASPBERRY PI DEL SISTEMA RFID

Sus objetivos son:

- Verificar la correcta conexión Arduino - Raspberry Pi y su programación.
- Ser capaces de interpretar la información recibida por el Arduino y ejecutar una acción para poder programar el Test global de nuestro proyecto.
- Verificar la correcta visualización de cada ID del TAG en el terminal de la Raspberry para tener un control.

Para poder realizar esta prueba, se conecta el Arduino, previamente programado del anterior test, a la Raspberry Pi.

A continuación, se pasa una etiqueta por dentro del rango de detección del lector y se comprueba que su ID aparezca en el terminal de la Raspberry.

A la hora de programar la Raspberry Pi, se decide que esta realizara una lectura cada segundo, pero se encuentra con el problema de que cuando coincidía el momento del escaneo con la lectura de un TAG, el código ID se leía incompleto lo que perjudica todo el sistema (Fig. 5.2).

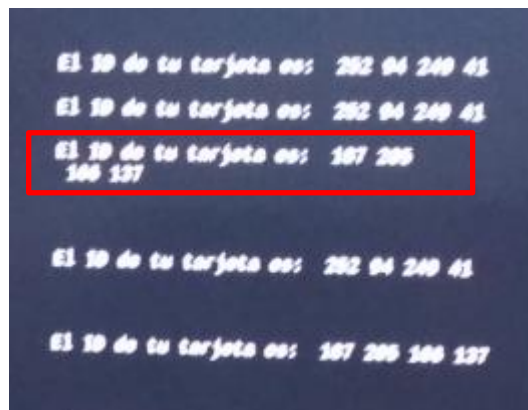
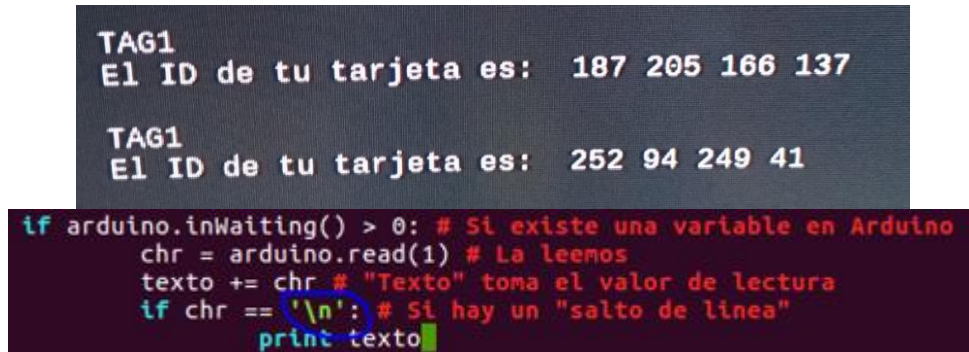


Fig. 5.2 Lectura incorrecta de TAG RFID en terminal de Raspberry

Ante este problema, se cambia el código para que la Raspberry realice una lectura cada salto de línea del en el puerto Serial en vez de la condición de tiempo par solo realizar la lectura una vez el ID este completamente realizado por parte del Arduino (Fig. 5.3). Además, imprimimos TAG1 para verificar que se puede interpretar cada ID y convertirlo en una acción para futuros tests. El código completo se encuentra explicado con detalle en el apartado B.2 del anexo B.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



```
TAG1
El ID de tu tarjeta es: 187 205 166 137

TAG1
El ID de tu tarjeta es: 252 94 249 41

if arduino.inWaiting() > 0: # Si existe una variable en Arduino
    chr = arduino.read(1) # La leemos
    texto += chr # "Texto" toma el valor de lectura
    if chr == '\n': # Si hay un "salto de línea"
        print texto
```

Fig. 5.3 Lectura correcta de IDs en el terminal de la Raspberry + Captura del código señalando el salto de línea

Con este test se comprueba que la velocidad de la comunicación es instantánea y que se es capaz de recibir una lectura de un TAG o cualquier dato del Arduino, interpretarlo en la Raspberry y realizar una acción.

5.1.3 TEST DE CONEXIÓN RASPBERRY PI DEL COCHE EN MOVIMIENTO

Su objetivo es:

- Verificar la correcta compatibilidad del programa de movimiento de los coches Picar-S con la lectura de IDs por parte de la Raspberry.

Para poder realizar esta prueba, previamente la parte de programación del movimiento de los vehículos ya estaba realizada por el grupo de investigación CRAAX.

Después de colocar varios TAGs en las pistas, se enciende el vehículo, se ejecutan 3 códigos en terminales diferentes: el movimiento del coche, el control del coche y la lectura RFID. Se conduce remotamente por encima de las pistas mientras se verifica que las lecturas de los IDs aparezcan en el terminal de la Raspberry (Fig. 5.4), utilizando el mismo código que en el apartado 5.1.2.

Se ha comprobado la correcta compatibilidad entre los códigos y que efectivamente se es capaz de mover el coche manualmente mientras se monitoriza la lectura de los TAGs sin ningún problema, lo que es clave para que el coche pueda interactuar con los demás elementos del TestBed como semáforos, farolas y puente.

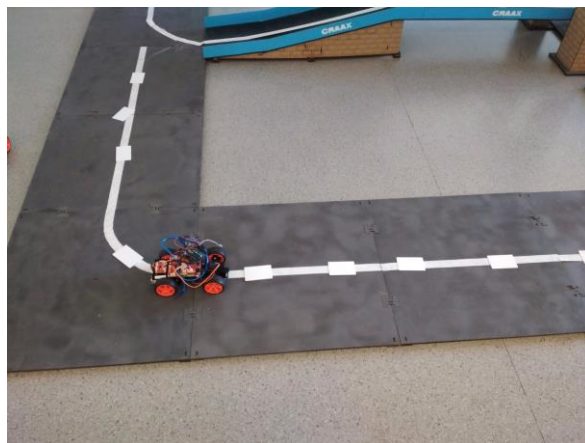


Fig. 5.4 Test de lectura de TAGs con coche en movimiento.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

5.2 TESTS DE COMUNICACIÓN UTILIZANDO RASPBERRIES Y ARDUINOS

Para que sea posible que el coche pueda interactuar con los demás elementos del TestBed, es necesario que la Raspberry del coche pueda ser capaz de comunicarse con las Raspberries del TestBed y estas a su vez, con los Arduinos que controlan los semáforos, las farolas y el puente. Realizamos los siguientes tests para ir comprobando cada parte por separado y estar un paso más cerca de la programación de la demo final.

5.2.1 TEST DE COMUNICACIÓN ENTRE RASPBERRIES

Objetivo:

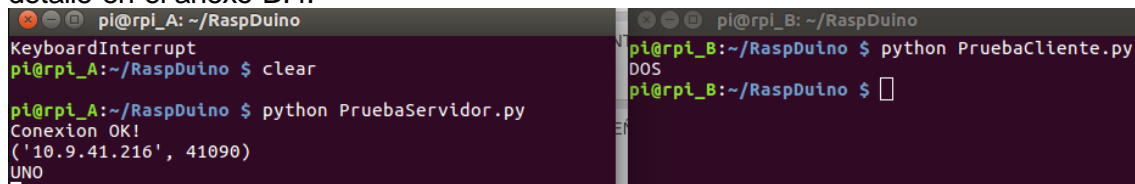
- Implementar una comunicación entre la Raspberry del coche y las Raspberries del TestBed y comprobar su utilidad a nuestro TestBed

Hemos decidido utilizar la herramienta Sockets para realizar esta comunicación. Los Sockets nos permiten intercambiar cualquier flujo de datos de manera ordenada en programas que se encuentran en diferentes ordenadores mientras ambos sean capaces de localizarse entre ellos mediante una dirección IP y un puerto.

Los Sockets tienen una arquitectura Cliente-Servidor, donde el servidor está a la espera y el cliente inicia la conversación. La comunicación es bidireccional, es decir, que ambos pueden enviar y recibir información, lo que nos da más libertad a la hora de programar la demo global.

En nuestro TestBed, la Raspberry del coche actuará como cliente en el Socket y las Raspberries del TestBed como servidores.

Hemos hecho una pequeña prueba donde simplemente un servidor y un cliente establecen una comunicación. El cliente le envía un “UNO” al servidor y este le responde con “DOS” y logramos ver las respuestas en sus respectivos terminales como se muestra en la Fig. 5.5, así comprobamos que esta herramienta es efectivamente fiable, rápida y bidireccional. El código utilizado para este test se encuentra explicado con detalle en el anexo B.4.



```
pi@rpi_A: ~/RaspDuino
KeyboardInterrupt
pi@rpi_A:~/RaspDuino $ clear

pi@rpi_A:~/RaspDuino $ python PruebaServidor.py
Conexion OK!
('10.9.41.216', 41090)
UNO

pi@rpi_B: ~/RaspDuino
pi@rpi_B:~/RaspDuino $ python PruebaCliente.py
DOS
pi@rpi_B:~/RaspDuino $
```

Fig. 5.5 Comunicación Servidor-Cliente entre Raspberries

5.2.2 TEST DE CONEXIÓN RASPBERRY-FRONTEND

Sus objetivos son:

- Verificar la correcta conexión Raspberry Pi - FrontEnd
- Enviar la lectura de los TAGs de la Raspberry al FrontEnd

Este test se ha realizado con ayuda de Adrián Roldan, autor del FrontEnd de nuestro TestBed. Para poder realizar esta prueba usaremos el montaje de la prueba 5.1.2 y conectaremos la Raspberry Pi al FrontEnd mediante WiFi. Para ello se instalaron las librerías del FrontEnd en la Raspberry Pi del coche y se hicieron algunas modificaciones en el código utilizado en el test del apartado 5.1.2.

A continuación, pasamos una etiqueta por dentro del rango de detección del lector y

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

comprobamos que el FrontEnd recibe los datos y logra reflejar el cambio de estado (Fig. 5.6) (Fig. 5.7) (Fig. 5.8).

```
MINGW64:/c:/Users/Adrian.Roldan/Proyectos Nc
Recibida posición de agente: VF1 S5
Recibido estado de agente: TW1 1000
Recibido estado de agente: BA1 closed
Recibido estado de agente: BA2 closed
Recibido estado de agente: BR1 open
Recibido estado de agente: F1 0
Recibido estado de agente: F2 0
Recibido estado de agente: F3 2
Recibido estado de agente: F4 1
Recibido estado de agente: F5 0
Recibido estado de agente: TW2 0100
Recibida posición de agente: VF1 S6
Recibido estado de agente: TW1 0010
Recibido estado de agente: BA1 open
Recibido estado de agente: BA2 open
Recibido estado de agente: BR1 closed
Recibido estado de agente: F1 1
Recibido estado de agente: F2 2
Recibido estado de agente: F3 0
Recibido estado de agente: F4 0
Recibido estado de agente: F5 0
Recibido estado de agente: TW3 0012
Recibida posición de agente: VF1 S7
Recibido estado de agente: TW1 1002
Recibido estado de agente: TW1 0102
Recibido estado de agente: BA1 closed
Recibido estado de agente: BA2 closed
Recibido estado de agente: BR1 open
Recibida posición de agente: VF1 SE
Recibido estado de agente: TW1 1000
Recibido estado de agente: BA1 closed
Recibido estado de agente: BA2 closed
Recibido estado de agente: BR1 open
Recibido estado de agente: F1 0
Recibido estado de agente: F2 0
Recibido estado de agente: F3 2
Recibido estado de agente: F4 1
Recibido estado de agente: F5 0
```

Fig. 5.6 Recibo de TAGs

```
Consola del navegador
Filtrar salida
Errores  Advertencias  Registros  Información  Depurar  CSS  XHR  Peticiones

Posicion (907),758 de agente firefighters #VF1. TAG: S6          Car.js:34:9
dirección:e
Conectado agente trafficlight #TW1                               sockets.js:31:5
Conectado agente trafficlight #TW2                               sockets.js:31:5
Conectado agente trafficlight #TW3                               sockets.js:31:5
Conectado agente streetlight #F1                                 sockets.js:31:5
Conectado agente streetlight #F2                                 sockets.js:31:5
Conectado agente streetlight #F3                                 sockets.js:31:5
Conectado agente streetlight #F4                                 sockets.js:31:5
Conectado agente streetlight #F5                                 sockets.js:31:5
Conectado agente barrier #BA1                                    sockets.js:31:5
Conectado agente barrier #BA2                                    sockets.js:31:5
Conectado agente bridge #BR1                                    sockets.js:31:5
Posicion (1025),758 de agente firefighters #VF1. TAG: S7        Car.js:34:9
dirección:e
Posicion (1152),758 de agente firefighters #VF1. TAG: SE        Car.js:34:9
dirección:n
Posicion (1152),642 de agente firefighters #VF1. TAG: E4        Car.js:34:9
dirección:n
```

Fig. 5.7 Recibo de conexión de agentes

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

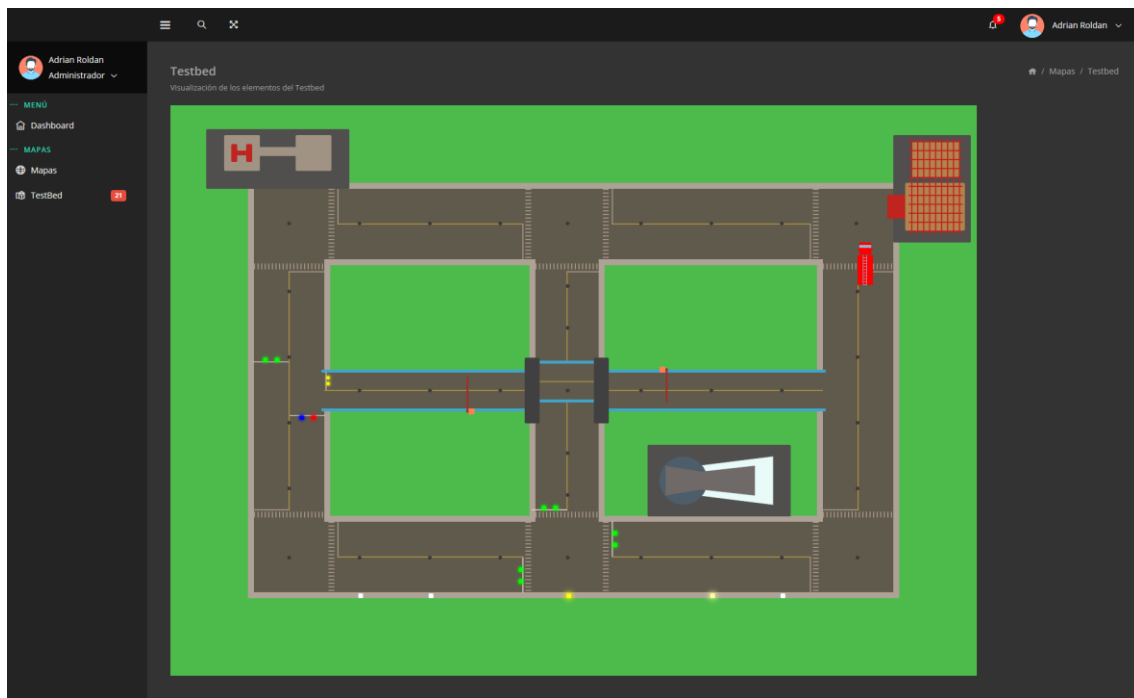


Fig. 5.8 Interface del FrontEnd

Hemos logrado realizar la correcta conexión con el FrontEnd y lograr que este reciba los valores de IDs de los TAGs y poder generar un cambio de estado. De esta manera el FrontEnd puede conocer la posición de los coches e interpretar su movimiento.

5.2.3 TEST DE CONEXIÓN RASPBERRY-ARDUINOS

En el apartado 5.1.1 realizamos un envío de datos desde el Arduino a la Raspberry, pero es importante comprobar la comunicación inversa para poder generar comandos desde la Raspberry.

Sus objetivos son:

- Realizar el envío de datos desde la Raspberry al Arduino mediante el puerto Serie.
- Comprobar las comandas que se envían desde una Raspberry a múltiples Arduinos.

Para ello conectamos 3 Arduinos con el mismo código a una misma Raspberry (Fig. 5.9). El código de los Arduinos se basa en encender y apagar un LED dependiendo de lo que reciban mediante el puerto Serie.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.



Fig. 5.9 Test de conexión Raspberry – 3 Arduinos por puerto Serie + Captura del código donde se envía el comando

La comunicación ha sido exitosa y somos capaces de enviar un comando desde la Raspberry a cualquier Arduino conectado a ella. El Arduino recibe este comando y logra encender o apagar el LED. Pero como lado negativo, es que cada puerto USB de la Raspberry tiene un número, el cual cambia si un Arduino se desconecta y vuelve a conectar al siguiente número mayor. Lo que hace que el código en la Raspberry desconozca el puerto al que se conecta el Arduino y no sea capaz de correr su programa. Como solución actual, una vez conectado los Arduinos no se deberán desconectar, y en caso de que sí, habrá que reiniciar la Raspberry.

No creemos que es un problema que nos afecte a corto plazo ya que no se planea realizar cambios de conexiones entre Raspberries y Arduinos mientras el TestBed esté encendido, pero si en un futuro se planea solucionar este pequeño problema, se deberá implementar un protocolo de reconocimiento.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

6. TEST DEL CONJUNTO. DEMO FINAL

La idea de la DEMO es poner a prueba todos los tests anteriores en conjunto y a la vez demostrar una solución inteligente que podría ofrecer una SmartCity para resolver un problema en la actualidad como el despeje del tráfico para una ambulancia en estado de emergencia.

La DEMO de basa en resolver una situación de emergencia donde hay un accidente en la estación de bomberos. La ambulancia deberá salir del hospital, recoger a la persona herida y llevarlo al hospital. Para ello el TestBed preparará una ruta mientras despeja el tráfico y así lograr resolver la emergencia en el menor tiempo posible.

El sentido de circulación que utilizamos en esta DEMO es el siguiente (Fig. 6.1):

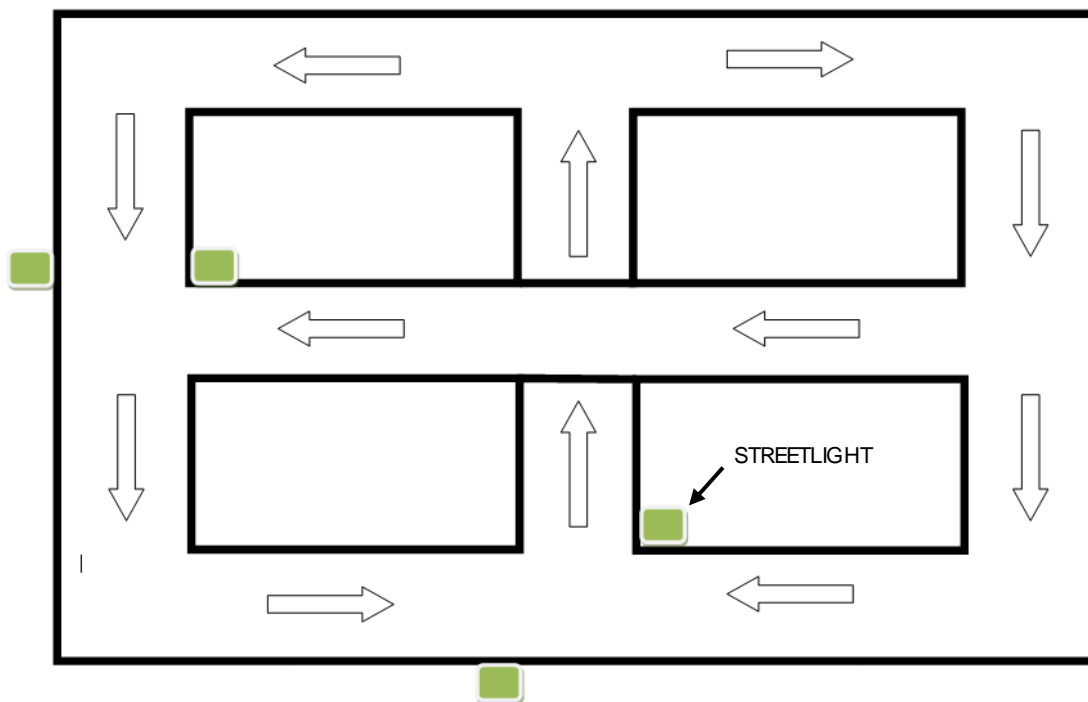


Fig. 6.1 Sentido de circulación en la DEMO

Para seguir la explicación de la DEMO final es necesario observar la Fig. 5.11. En el esquema se representan los TAGs RFID que es parte del sistema que hemos utilizado para poder conocer la ubicación del coche, explicado con mayor detalle en el apartado 3.2 de este mismo documento. Como se puede ver en el esquema, hay un TAG por pista, por lo que podemos conocer la posición del coche en cada pista.

1. La ambulancia sale del hospital y los semáforos TW1 y TW2 se ponen en estado de emergencia. Es decir, verde y azul titilante (opción nueva que hemos decidido implementar para representar un simulacro) en TW1 y rojo y azul titilante en TW2.
2. Las farolas empiezan a encenderse a medida que pasa el coche. Teniendo una intensidad media cuando el coche está 2 pistas por detrás de la farola, una intensidad alta cuando está entre 1 pista antes y después de la misma y apagada cuando está 2 pistas por delante.
3. Los semáforos TS1 y TS3 se ponen en estado de emergencia. Verde y azul titilante para el TS1 y rojo y azul titilante para TS3.
4. El puente se eleva para permitir el paso a la ambulancia.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

5. Los semáforos TS1 y TS3 se colocan en rojo y azul titilante para prevenir la circulación de vehículos por la calle central. Objetivo que se explicará en el paso número 8.
6. Lugar del accidente. Recoger a la persona herida.
7. Cerrar el puente para permitir el paso.
8. Semáforo TW2 en verde y azul titilante. Se le proporcionará un mensaje a la ambulancia de que es posible girar a la derecha para llegar rápidamente al hospital. Aunque este último tramo se realice en un sentido contrario al permitido normalmente, esto es posible ya que se ha gestionado el tráfico en el paso número 5, bloqueando el paso de vehículo en la calle superior.

Los códigos utilizados en la DEMO se encuentran explicados detalladamente en el apartado B.9 del anexo B.

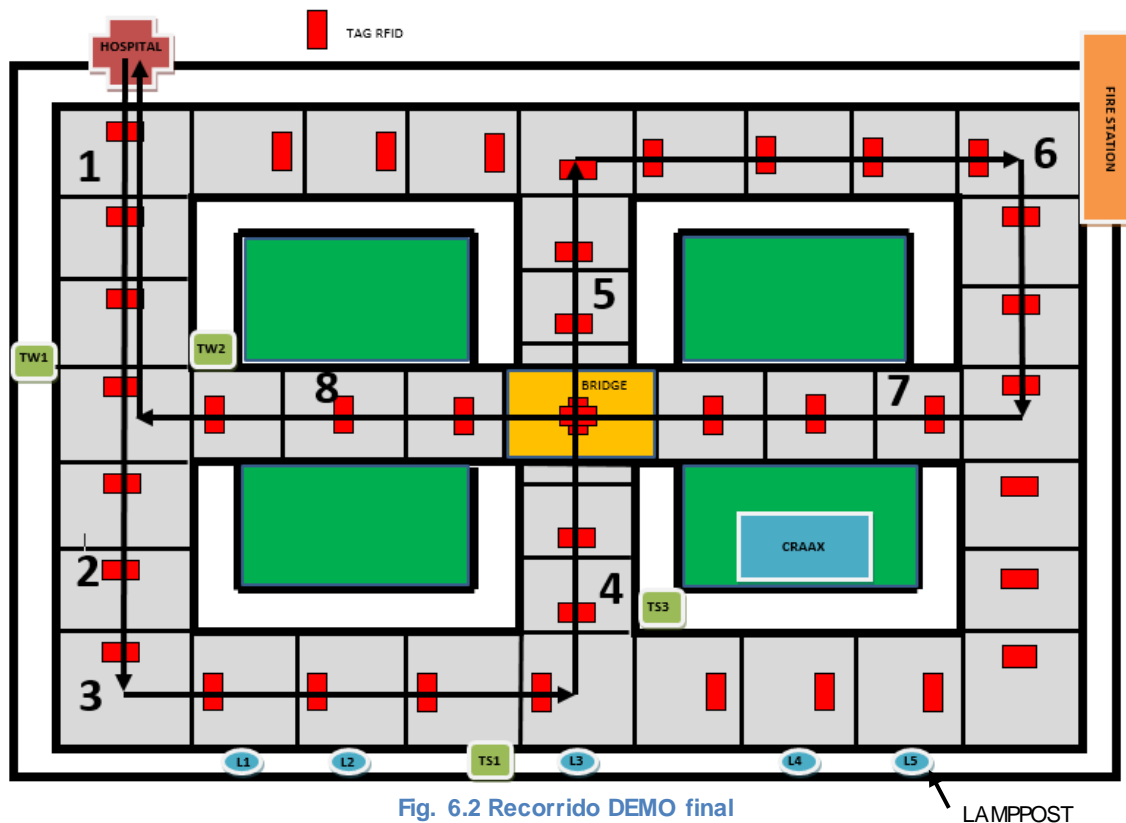


Fig. 6.2 Recorrido DEMO final

Una vez realizada la DEMO con éxito podemos concluir que el TestBed es una buena herramienta para testear cualquier tipo de soluciones y para demostrar de manera visual e intuitiva a cualquier persona lo que se quiere lograr en un futuro. Con el objetivo de poder perfeccionarlas e implementarlas y poder conseguir financiación para el proyecto.

Cabe destacar que la programación ha sido realizada por ingenieros industriales con muy poca experiencia en el área de la programación, por lo que los códigos se han trabajado hasta alcanzar unos objetivos funcionales pero que se pueden optimizar para mejorar tanto ésta DEMO. Hasta la fecha solo hemos implementado esta solución con una pequeña inteligencia que sigue un guion. Pero la idea es que el centro de investigación CRAAX implemente una inteligencia mucho mayor y solucione problemas más complicados donde por ejemplo existan varios coches en circulación. Y creemos que nuestro TestBed es capaz de realizar pruebas de este estilo y que también se puede mejorar para ir más allá.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

7. PROPUESTAS DE FUTURO

Hemos pensado en diferentes ideas para su posible futura implementación, así como también ideas para mejorar y ampliar el proyecto ya existente. Primero veremos las propuestas de mejora y después las tres propuestas completamente nuevas.

- **Aumento de la precisión del sistema de ubicación de vehículos.** Aunque consideramos que nuestro sistema de ubicación es preciso, se podrían añadir más TAGs en las fundas ya existentes e incluso poner más fundas para cubrir más espacio del TestBed, con este aumento se podría ajustar las funcionalidades del TestBed o incluso para futuras que sean más complejas.

En una Smart City hay posibilidad de implementar cualquier elemento inteligente, pero antes se debe implementar y testear en un TestBed; ahora veremos tres propuestas de futuro que dejamos en el aire para que futuros proyectistas las puedan desarrollar como ellos consideren conveniente.

- **Vías de tranvía** con su estación para que otro medio de transporte pudiese interactuar con el tráfico de la ciudad y poder estudiar y probar la implementación de un tranvía real en una Smart City
- **Paso de cebra inteligente:** utilizando leds, por ejemplo, para evitar posibles interferencias con el sistema de control de los vehículos, ya que estos siguen una línea blanca.
- **Placas fotovoltaicas** en el techo de los edificios ya existentes del TestBed, aprovechando la luz que entra por el gran ventanal. De esta manera se usaría la energía para el sistema de iluminación con farolas del TestBed y evitar el uso de tantos cables.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

8. COSTE DEL PROYECTO

Finalmente nos proponemos realizar un presupuesto aproximado para el proyecto con los objetivos siguientes:

- Ser conscientes nosotros mismos de lo que costaría un proyecto así en la vida real
- Proporcionar información detallada de costes a nuestro cliente
- Ayudar a posibles empresas a decidir si quieren realizar un proyecto de estas características

Vamos a dividir el presupuesto en tres grandes apartados: coste de materiales, coste de trabajadores y coste de máquinas.

8.1 COSTE DE MATERIALES

En este apartado detallamos todos los materiales comprados en una tabla. (Fig. 8.1)

ITEM	PRECIO (€)	CANTIDAD	TOTAL ITEM
PLANCHAS DE MADERA 7mm 1200X600	6,7	15	100,5
PLANCHAS DE MADERA 4mm 1200X600	5,2	15	78
LEDs 5mm	0,2	60	12
LEDs 10mm	0,4	24	9,6
Cables 0.5mm 1M	0,38	200	76
Cables USB-Serie	4,99	6	29,94
Transformadores 12V	7,99	1	7,99
Arduinos	9,99	6	59,94
Raspberries	34,69	2	69,38
Tubo PVC 15x12 1metro	1,99	2	3,98
Finales de carrera	1,97	2	3,94
10 TAGs RFID MIFARE	5,99	4	23,96
LECTOR RFID RC522	12,03	3	36,09
PICAR sunfounder	89,99	3	269,97
PINTURA SPRAY 300ml	5,99	15	89,85
FUNDA CABLES 25M	15,2	2	30,4
DRIVER L298N	9,99	1	9,99
MOTOR CAJA REDUCTORA 1128	8,46	1	8,46
SERVOMOTOR SG90	1,99	2	3,98
CONECTORES	0,49	20	9,8
ROLLO PLASTICO IMPRESORA 3D 25Kg	20	1	20
TOTAL			953,77

Fig. 8.1 Tabla de costes de materiales

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

8.2 COSTE DE TRABAJADORES

Para hacer este cálculo aproximado, cogeremos como horas trabajadas las horas de dedicación de la guía docente que son 600 por cada miembro del grupo y nos sale la cantidad siguiente:

$$\begin{aligned} 600h \times 4 \text{ integrantes} &= 2400h \\ 2400h \times 13,20 \text{ €/h [14]} &= 31.680 \text{ €} \end{aligned}$$

8.3 COSTE DE MÁQUINAS

Para realizar estos cálculos nos hemos basado en los precios de la empresa *Timiprint*.
Cortadora láser:

$$\begin{aligned} 10 \text{ €} \times 15 \text{ min [15]} &= 40 \text{ €/h} \\ 40 \text{ €/h} \times 17h &= 680\text{€} \end{aligned}$$

Impresora 3D:

$$\begin{aligned} 6 \text{ €/h}, 0.2 \text{ €/g} \\ 6 \text{ €/h} \times 30h + 0.2 \text{ €/g} \times 570g &= 294 \text{ €} \end{aligned}$$

Coste total del uso de máquinas: 974€

8.4 COSTE TOTAL DEL PROYECTO

Sumando todos los apartados el coste final del proyecto es de: $953,77 + 31.680 + 974 = 33.603,77 \text{ €}$

Cabe recalcar que la parte de coste de los trabajadores es teórica ya que se trata de un proyecto académico.

Después de realizar esta inversión, el grupo de investigación CRAAX dispone de un TestBed funcional para poder hacer sus primeras pruebas y poder seguir realizando evoluciones en futuros proyectos. Además, pueden mostrar el proyecto de manera muy visual a sus inversores y conseguir patrocinadores.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

9. CONCLUSIONES

Analizando nuestro proyecto final con perspectiva, podemos afirmar que la implementación del TestBed para una Smart City se ha conseguido y cumple con los objetivos planteados al principio del proyecto:

- **Diseño e implementación en el TestBed de varios elementos que se podrían encontrar en una Smart City, como por ejemplo, semáforos y farolas:** no sólo hemos implementado semáforos y farolas, también hemos conseguido implementar un **punto** con un sistema levadizo, aunque no completamente funcional. También hemos implementado **aceras** además de diseñar e implementar unas **nuevas pistas**.

- **Sensorización de vehículos en las pistas, para saber la posición de estos en el TestBed:** además de conseguir con creces el objetivo de implementar un sistema de ubicación para los vehículos, también hemos **conectado esta tecnología con un proyecto llevado a cabo en el CRAAX** que necesitaba de nuestra tecnología para ser completado.

- **Electrificación del conjunto:** se ha conseguido complementar la electrificación del TestBed con el valor añadido de contar con un TestBed **sin cables visibles**, lo que le da un aspecto **limpio y profesional**.

El éxito del proyecto está directamente vinculado con la continua atención a los intereses del cliente y al trabajo progresivo que se ha realizado semanalmente desde el inicio hasta el final del proyecto.

Actualmente el grupo de investigación CRAAX cuenta con un TestBed que está adaptado para probar sus soluciones y que se puede seguir mejorando porque las partes más grandes han quedado construidas y se ha dejado preparada una estructura para poder seguir implementando más aplicaciones.

El continuo diseño y prototipado que empezó el primer mes del proyecto fue un aspecto clave en los elementos del TestBed para asegurar que todos cumplieran los objetivos propuestos, además de garantizar la mejora del TestBed y mantener al cliente interesado.

También fueron positivos los pequeños tests que se realizaron a lo largo del proyecto para asegurar el correcto funcionamiento de las partes y del conjunto.

Para concluir, se ha conseguido completar un gran proyecto y no sólo se han cumplido con creces los objetivos generales, sino que se han ido mejorando y ampliando para llegar a un gran producto final.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecerles la oportunidad a todos los investigadores del CRAAX por permitirnos diseñar e implementar nuestras primeras ideas de ingeniería y poder participar en este proyecto que esperamos que tenga un futuro exitoso.

También agradecemos a todo el personal de STL por enseñarnos como utilizar la impresora 3D y la cortadora laser, además de estar disponibles para resolver cualquier duda que pudiera surgir.

Y, por último, queremos agradecer a todos los miembros de los grupos multidisciplinares por compartir sus proyectos con nosotros.

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Innovation Factory Institute (2013) ¿Qué es el Design thinking?. Recuperado de: <https://www.innovationfactoryinstitute.com/blog/que-es-el-design-thinking/>
- [2] Machine Learning and Fog to Cloud European Project. (2017). Mf2c project. Recuperado de: <http://www.mf2c-project.eu/>
- [3] Machine Learning and Fog to Cloud European Project. (2017). Towards an Open, Secure, Decentralized and Coordinated Fog-to-Cloud Management Ecosystem (mF2C). http://www.mf2c-project.eu/wp-content/uploads/2018/02/Whitepaper_F2C_v2.pdf
- [4] Nuevos Artesanos. (2015). Smart City. Recuperado de: <https://nartesanos.citilab.eu/?p=1351>
- [5] New York University Abu Dhabi. (2017). Smart City Testbed NYUAD, Center for Cyber Security. Recuperado de: <http://sites.nyuad.nyu.edu/ccs-ad/about/research-areas-2/research-labs-groups/smart-city-testbed/>
- [6] Balázs Simon. (2017). Traffic Control with Walabot. Recuperado de hackster.io: <https://www.hackster.io/Abysmal/traffic-control-with-walabot-6dfe7a>
- [7] Redes Telecom. (2016). Nokia entra a formar parte del proyecto de SmartCity Bristol Is Open. Recuperado de: <http://www.redestelecom.es/comunicaciones/noticias/1092993000303/nokia-entra-a-formar-parte-del-proyecto-de-smart-city-bristol-is-open.1.html>
- [8] Bristol is open. (2016). Smart City Research and Development Platform. Recuperado de: <https://www.bristolisopen.com/>
- [9] Bristol is Open. (2016). Bristol Is Open - Introduction. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?time_continue=150&v=pqYg219CiKA
- [10] Smart Santander. (2014). Guildford Facility. Recuperado de: <http://www.smartsantander.eu/index.php/testbeds/item/133-guildford-summary>
- [11] Sunfounder. (2016). Picar-S User Manual. Recuperado de: <https://www.sunfounder.com/learn/download/UGIDYXltU19Vc2VyX01hbnVhbC5wZGY=/dispi>
- [12] Sunfounder. (2016). Picar-V User Manual. Recuperado de: <https://www.sunfounder.com/learn/download/U21hcnRfVmlkZW9fQ2FyX1YyLjBfZm9yX1Jhc3BiZXJyeV9QaV9QaUNhci1WXy5wZGY=/dispi>
- [13] Miguel Balboa. (2018). Arduino RFID Library for MFRC522. Recuperado de: <https://github.com/miguelbalboa/rfid>

Diseño e implementación de un TestBed para una Smart City.

Autor del TFG: Díaz, Marlon; Figueras, Roger; Medrano, Marc; Padial, Carlos.

[14] DL Profesionales. (2016). EL PRECIO DE UNA HORA DE TRABAJO. Recuperado de: <http://www.duasleiras.com/blog-profesionales/entrada/el-precio-de-una-hora-de-trabajo/>

[15] Más que puzzles. SERVICIO CORTE LÁSER: CUÁNTO CUESTA. Recuperado de: <https://www.masquepuzzles.com/176-cuanto-cuesta>